

ダムによる流量調節が河畔林に及ぼす影響について

誌名	日本林學會誌 = Journal of the Japanese Forestry Society
ISSN	0021485X
巻/号	853
掲載ページ	p. 214-221
発行年月	2003年8月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



ダムによる流量調節が河畔林に及ぼす影響について ——北海道札内川の事例——

高木麻衣*¹・中村太士²

高木麻衣・中村太士：ダムによる流量調節が河畔林に及ぼす影響について—北海道札内川の事例— 日林誌 85: 214~221, 2003 1996年湛水が開始された北海道十勝川水系札内川札内川ダム下流において、ダム運用前の冠水頻度を用いて河床を4区分した。各区分において5調査区を設定し、粒径組成などの立地環境、樹木の種組成および更新木の種組成を調査した。その結果、冠水頻度区分ごとに種組成、立地環境は異なっており、冠水頻度の差によって生じる立地環境の違いが種組成に反映されていると考えられた。冠水頻度が高く、ケショウヤナギをはじめとするヤナギ科植物で樹冠が構成されている立地区分では、林床の更新木はヤチダモなどの遷移後期種であった。冠水頻度はダム運用による流量調節によって低下し、ヤナギ科植物の更新サイトが減少する一方、ヤチダモ等の遷移後期種に適した立地環境となることが予測された。よって、今後は、ヤナギ科植物が更新できず衰退し、現在林床にある遷移後期種へと遷移していくと考えられた。
キーワード：河畔林、ケショウヤナギ、洪水攪乱、ダム、流量調節

Takagi, M. and Nakamura, F.: The Downstream Effects of Water Regulation by the Dam on the Riparian Tree Species in the Satsunai River. J. Jpn. For. Soc. 85: 214~221, 2003 The downstream effects of water regulation by dam were investigated in the Satsunai River where a flood control dam was initially impounded in 1996. The riverbed geomorphic surfaces were classified into four groups based upon the flooding recurrence interval. Five vegetation quadrats were set in each surface to measure basal areas of trees and environmental variables. The results indicated that species distribution was different among the geomorphic surfaces representing various environmental conditions. Seedlings of late-successional tree species dominated the geomorphic surfaces being frequently disturbed in the pre-regulation scheme where Salicaceae species such as *Chosenia arbutifolia* occupy the canopy layer presently. After the dam regulation, about 70% of the entire riverbed was classified as few flooding areas, suggesting that Salicaceae stands will be replaced by late-successional species, such as *Fraxinus mandshurica* var. *japonica*.

Key words: *Chosenia arbutifolia*, dam, flood disturbance, riparian species, water regulation

I. はじめに

河畔林の構造、種組成および更新機構は、貯水ダムによる流量調節や土砂移動の変化によって、大きな影響を受けるといわれている(中村, 1999)。北米のMissouri川流域をはじめとした半乾燥地域では、貯水ダムによる流量調節に伴う融雪出水の減少や夏季の水位低下によって下流域の乾燥化が進み、先駆性樹種であるヤマナラシ属(*Populus*)やヤナギ属(*Salix*)を中心とした河畔林が衰退する事例が数多く報告されている(Johnson *et al.*, 1976; Rood and Heinze-Milne, 1989)。

一方、ダム建設後、氾濫原内の裸地が減少し樹林化が進んでいるという報告も多い。Harris *et al.* (1987)は、ダム建設後、水辺林の樹冠被度の拡大する河川の存在を複数の河川間の比較から指摘し、その原因の一つとして、洪水のピーク流量減少に伴う洗掘範囲の減少をあげている。Johnson (1994)は、Missouri川の支川、Platte川における1900年以降の樹林帯の拡大について調査し、その原因の一つに、ダムおよび灌漑用の水利用に伴う6月の流量減少をあげ、本来なら冠水している砂州部分へ樹木が侵入

し、樹林帯が拡大していることを指摘している。日本でも鎌田ら(1997)が、貯水ダムや砂防ダムなどによる供給土砂の減少および流況の安定が砂洲の安定をもたらし、樹林化を促進する要因の一つになっている可能性を指摘している。しかし、周辺の土地利用や河川改修により、日本において天然の河畔林として現存しているものは極めて少ない(崎尾・鈴木, 1997)。そのため天然の河畔林へ貯水ダムの運用が与える影響を実証した研究はまだなく、Nakamura and Shin (2001)が、河畔林の更新動態とダムの流量調節から推察しているのみである。

そこで、本研究では、1998年から貯水ダムの運用が開始された北海道東部十勝川水系札内川において、ダムによる流量調節が河畔林へ与える影響を明らかにすることを目的とする。

北海道の河川には、オノエヤナギ(*Salix sachalinensis*)、ドロノキ(*Populus maximowiczii*)、オオバヤナギ(*Toisusu urbaniana*)などのヤナギ科植物を中心とした先駆性広葉樹が優占する河畔林が広く分布しており、この河畔林を構成する樹種の分布は、立地環境の違いによって説明できるといわれている(新山, 1987, 1989)。また、こ

* 連絡・別刷請求先 (Corresponding author) E-mail: mai.takagi@tk.pacific.co.jp

¹ パシフィックコンサルタンツ株式会社 (163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1)

Pacific Consultants, 2-7-1 Nishi-shinjyuku, Shinjuku-ku, Tokyo 163-0730, Japan.

² 北海道大学大学院農学研究科 (060-8589 札幌市北区北9条西9丁目)

Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Kita-9, Nishi-9, Kita-ku, Sapporo 060-8589, Japan.

(2002年10月28日受付; 2003年6月23日受理)

の立地環境の違いは比高に代表される洪水攪乱の傾度と密接な関係があり、それぞれの先駆性広葉樹は洪水攪乱に応じて分布域をわけているといわれている(有賀ら, 1996; Nakamura *et al.*, 1997)。

そこで本研究では、まず洪水攪乱を受ける頻度を表す冠水頻度をもとに河床を区分し、その区分ごとの種組成と立地環境を調査し、冠水頻度、種組成および立地環境の関係を解析する。ダム運用後3年にあたる調査時点では、流量調節の直接的影響を受けて変化する冠水頻度以外、立地環境の変化は軽微であると考えられる。したがってダム運用前の頻度区分に応じて調査を実施し、ダム運用前に生育していたと考えられる樹高1.3 m以上の樹木個体について、冠水頻度と種組成、立地環境の対応を検討することにした。

次にダムの流量調節による河床の冠水頻度の変化を明らかにし、冠水頻度と種組成、立地環境の対応結果と合わせて、将来の種組成を予想する。草本に関しては、ダム運用による洪水攪乱減少の影響が、数年で現れるといわれているが(浅見ら, 2001)、樹木では数十年以上たたなければその影響を評価することは難しいといわれている(Johnson, 1994)。そこで本研究では、現時点での更新木の種組成、成立本数を調査し、冠水頻度と種組成・立地環境の対応と冠水頻度の変化から推察した予想に対する検証を行った。

II. 調査地概況

調査河川は、日高山脈の札内岳(1,895 m)を源流とする十勝川支流札内川(幹川流路延長82 km, 流域面積725 km²)である(図-1)。札内川ダムは、札内川上流北緯42度35分, 東経142度56分(ダム堤体部), 標高374 m(ダム堤体基盤高)に位置し、洪水調節、渇水時の流況安定、かんがい用水、水道水の確保および発電を目的として計画された多目的ダムである。

札内川ダム貯水池周辺の地質は、白亜紀後期に形成されたと考えられる泥質岩、砂岩を主とし、一部に礫岩、凝灰岩を挟在している(北海道開発局帯広開発建設部, 2001)。札内川ダムに最も近い、上札内観測所における1979年から1990年の年平均気温は5.2度, 年平均降水量は1,256.8 mmである(日本気象協会北海道本部, 1992)。

札内川ダムは、1982年から転流工事を開始、1996年試験湛水を開始、1998年に通常のダム運用が開始された。貯水池の流域面積は117.7 km², 総貯水容量5,400万 m³, 計画最大放流量は150 m³/sである。ダムの運用以前にはおよそ2年に1度の確率で発生していた200 m³/s規模の出水は、運用後は発生しない計画である(北海道開発局帯広開発建設部, 2001)。1999年8月1日前後には計画最大放水量150 m³/sが記録されたが、ダム下流域の砂洲の形状に顕著な変化は認められなかった(北海道開発局帯広開発建設部札内川ダム管理所, 2000)。

札内川の河畔に出現する樹種は主にエゾノキヌヤナギ

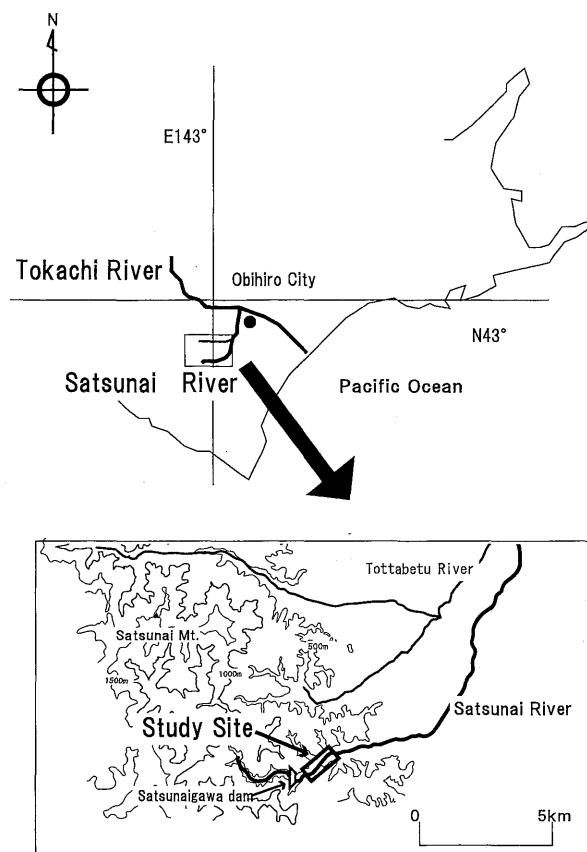


図-1. 調査地位置図
Map of study site.

(*Salix pet-susu*), オノエヤナギ, エゾヤナギ (*Salix rori-da*), ネコヤナギ (*Salix gracilistyla*), オオバヤナギ, ドロノキ, およびケショウヤナギ (*Chosenia arbutifolia*) である(新山, 1989)。なかでもケショウヤナギは、わが国では北海道と長野県上高地にのみに隔離分布し(館脇, 1948; 木村, 1951)、網状流路河川の礫質立地に優占することが知られている(新山, 1989; 進ら, 1999)。

ダムによる流量調節の調査対象地域として、札内川ダム堤体下流1.6~4.4 kmの間に2区間、合計1.7 km調査区間を設定した。なおダム堤体から1.6 kmまで、および2.6~3.7 km周辺は、すでに河畔林の大半が伐採されていたため除外した。

調査区間の周囲には、第四紀更新世に形成された河岸段丘が現河床から比高1~2 mの付近にところどころ分布している(北海道開発局帯広開発建設部, 2001)。調査区間では、航空写真をもとにした植生図(北海道開発局帯広開発建設部札内川ダム管理所, 2000)の変遷から、過去50年間において伐採および植林が行われた形跡はなく、現地踏査からも伐採および植生の形跡は認められなかった。調査区間の標高は約360~390 m, 川幅は約100~300 m, 平均河床勾配は1/100, 上流部の流域面積は124.7 km²である。

III. 調査方法

1. 冠水頻度区分

調査区間では、北海道開発局帯広開発建設部によって100 mおきに横断測線が設けられている。1999年に行われた測量結果から、冠水頻度を横断測線ごとに求めた。まず、最深河床から0.5 m刻みに水位を設定し、流下断面積と潤辺を計算によって求めた。水位ごとの流量をマンニングの公式(1), (2), (3)を用いて算出し、水位-流量曲線(4)を作成、式(4)から流量-水位式(5)を求めた。

$$V=(1/n)(R)^{3/2}(I)^{1/2} \quad (1)$$

$$R=A/P \quad (2)$$

$$Q=A \times V \quad (3)$$

$$Q=aH^2+bH+c \quad (4)$$

$$H=\{(Q-c)/2a-b/4a^2\}^{0.5} \quad (5)$$

V : 流速 m^3/s , n : マニング係数 ($=0.04$), R : 径深 m , I : 勾配, A : 流下断面積 m^2 , P : 潤辺 m , Q : 流量 m^3 , H : 水位 m , a, b, c : 係数

また、十勝地方の歴舟川下流の河畔林において、冠水頻度をもとにした地形区分と種組成の関係を明らかにした Nakamura and Shin (2001) の事例を参照に、ダム運用前後の20年に1度、2年に1度、1年に1度の確率流量時の水位を元に河床の冠水頻度を区分することとした。確率流量は、次の式(6), (7), (8) (北海道開発局帯広開発建設部札内川ダム管理所, 2000) から算出した。

$$\text{ダム運用前 } Y=1.99 \ln(X)-10.66 \quad (6)$$

$$\text{ダム運用後 } 100 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 以上 } Y=2.0 \ln(X)-7.58 \quad (7)$$

$$100 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 以下 } Y=1.07 \ln(X)-3.27 \quad (8)$$

Y : 確率年, X : 流量

求めた確率流量を式(5)に代入し、20年に1度、2年に1度、1年に1度の規模の洪水で到達する確率水位を、ダム運用前、後で求めた。

この水位を基準に、ダム運用前、後それぞれにおいて、河床の冠水頻度を4段階に区分した。1年に1度の確率水位以下の場所はレベル1とし、1年に1度の確率水位以上、2年に1度の確率水位以下の場所をレベル2とした。また、2年に1度の確率水位以上、20年に1度の確率水位以下の場所をレベル3、20年に1度の確率水位以上の場所をレベル4とした。それぞれのおおよその最深河床からの高さは、ダム運用以前はレベル1が1.5 m以下、レベル2が約1.5~2.5 m、レベル3が2.5~3 m、レベル4が3 m以上である。またダム運用後はレベル1が1 m以下、レベル2が1~1.5 m、レベル3が1.5~1.8 m、レベル4が1.8 m以上である。横断測線間の冠水頻度の区分には、5,000分の1地形図、0.5 m間隔の等高線が記入された1999年作成の1/1,500平面図、および1994, 1997, 1999年撮影のカラー空中写真を用い、現地踏査も踏まえて補完した。

2. 毎木調査

ダム運用以前の冠水頻度ごとの種組成を明らかにするため、冠水頻度区分ごとに5方形区ずつ、計20方形区の毎木調査区を設定した。各調査区において、樹高1.3 m以上のすべての個体について胸高直径と樹種を測定、記録した。各調査区では、林冠高を測定し、1956, 1965, 1977, 1982, 1992, 1998年の航空写真から作成された植生図(北海道開発局帯広開発建設部札内川ダム管理所, 2000)をもとにおおよその林齢を推定した。1調査区の面積は225 m^2 (15 m×15 m)を基本としたが、河床では林分が河川に沿って帯状に発達していることが多く、樹高、本数、密度も異なるため、林冠高を目安に林分の広がりに応じた大きさの調査区(225~416 m^2)を設定した。ただし、レベル1の調査区では樹高1.3 m以上の個体がなかったため、樹高に応じて4~25 m^2 の調査区を設定し、根元直径と樹種を記録した。

また、レベル2, 3, 4の調査区において、更新木を調査するために5 m×5 mの小方形区を調査区内に設定し、樹高1.3 m未満の個体を更新木と定義し、根元直径と樹種を測定、記録した。調査は2001年7月3日から8月25日にかけて行った。

3. 立地環境

立地環境がダム運用前の冠水頻度ごとに違いがあるか検討するため、各毎木調査区において、河畔林の種組成と関係があるとされている粒径組成、土壤水分、および土壤の有機物含有率(新山, 1989; 有賀ら, 1996)を計測した。

土壤の有機物含有率としては、炭素含有率と窒素含有率および有機物層の厚さを計測した。土壤水分を表す値として、地表面下10 cmの体積含水比を用いた。この計測は、土壤水分計(Theta Meter HH 1 AT社製)を用い、1週間以上晴天が続いた2001年8月15日に、1調査区につきランダムに5点測定し、平均値を調査区の代表値とした。また、有機物層の厚さを計測後、有機物層下の表層土を1,000 cc採取した。採取した土壤は電熱乾燥器により110°Cで24時間乾燥後、デシケーター内で十分に冷却した。その後電動ふるい振とう器によりふるい分けした。Wentworthの分類法(高山, 1974)を参考に、礫(gravel: 64~2 mm), 粗砂(coarse sand: 2~0.425 mm), 細砂(medium sand and fine sand: 0.425~0.125 mm), 微細砂(very fine sand: 0.125~0.063 mm), シルト(silt and clay < 0.063 mm)の5タイプに分類し、その構成比率を調査区ごとに求めた。炭素含有率と窒素含有率は、有機物層下の土壤を採取、風乾後、NA 2500 series Elemental Analyzers (CE INSTRUMENTS社製)を用いて分析した。

4. 解析

立地環境が、ダム運用前の冠水頻度ごとに違いがあるかどうかを検討するため、冠水頻度区分を要因とした、Kruskal-Wallis検定の一元配置分散分析を行った。冠水頻度区分による有意な影響が認められた場合は、Bonfer-

roni の不等式による有意水準の補正を行った後、Mann-Whitney の *U* 検定を用いて、事後比較を行った。

各調査区において、毎木調査の結果から得られた樹種ごとの胸高断面積合計から相対優占度 (%) を求めた。更新木調査の結果についても同様に、根元断面積合計から相対優占度 (%) を求め、それぞれの調査区における種組成を明らかにした。また種組成と立地環境の関係を検討するため、各調査区において樹種ごとの相対優占度を用いて、DCA: 除歪対応分析 (Detrended Correspondence Analysis: Hill and Gauch, 1980) を行った。DCA を用いて、種ごとの相対優占度から種組成の変化の軸を抽出し、調査区を軸にそってプロットし、この軸と立地の環境変量の相関分析から、種組成へ影響を与える立地環境を明らかにした。計算には Canoco for Windows ver. 3.1 (Ter Braak, 1988) を使用した。また、すべての調査区で相対優占度が 1% 未満であった樹種は、解析から除外した。

IV. 結 果

1. ダム運用以前の冠水頻度ごとの樹種分布および立地環境

毎木調査の結果、20 調査区における出現種数は 40 種で、いずれかの調査区で 30% 以上の相対優占度をもった

種は、オオバヤナギ、オノエヤナギ、ケシヨウヤナギ、ドロノキ、ヤチダモ (*Fraxinus mandshurica* var. *japonica*)、オニグルミ (*Juglans mandshurica* var. *sieboldiana*)、トドマツ (*Abies sachalinensis*) の 7 種だった (表-1)。レベル 1 には樹高 1.3 m 以上の個体はなく、エゾノキヌヤナギを中心とした、オノエヤナギ、ネコヤナギなどのヤナギ属が繁茂していた。レベル 2 とレベル 3 では、ケシヨウヤナギ、オオバヤナギ、ドロノキおよびオノエヤナギなど、ヤナギ科植物が主要な構成樹種であった。また、レベル 4 には、ヤチダモ、オニグルミ、トドマツ、キハダ (*Phellodendron amurense*)、ニレ属 (*Ulmus*) およびカエデ属 (*Acer*) などが優占していた。

冠水頻度区分を要因とした一元配置分散分析により立地環境を比較した結果、全ての環境変量において冠水頻度区分間の差が検出された (表-2)。レベル 1 では礫の占める割合が有意に多く、体積含水比が有意に少なかった。レベル 2、レベル 3 では、微細砂、シルトの割合が多い傾向がみられた。窒素含有率、炭素含有率および有機物層の厚さは、冠水頻度が低くなるにつれ増加する傾向がみられた。

各調査区の相対優占度を用いて分析した DCA の結果を図-2 に示す。ただしレベル 1 の分析においては、樹高 1.3 m 以上の個体がなかったため、樹高 1.3 m 未満の個体の

表-1. 各調査区における出現高木樹種の相対優占度
Relative percentage of total basal areas of tree species.

	Quadrat														
	Level 2					Level 3					Level 4				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Number of trees/ha	10178	2578	2889	3200	6667	4489	1429	1250	1950	1925	747	600	1322	1905	1550
Basal area (m ² /ha)	29.4	2.5	21.6	24.8	28.7	19.7	25.3	32.2	24.7	25.0	31.2	13.0	25.6	35.9	17.7
Average DBH (cm)	4.4	8.9	7.8	9.5	5.4	6.6	11.4	14.4	8.5	8.4	16.6	12.7	13.2	12.2	8.8
Canopy height (m)	12	13	13	12	13	12	18	16	18	18	18	20	20	18	18
Estimated stand age (y)	10	15	20	20	15	15	20	30	25	25	40	50	50	50	50
Specie/Relative basal area (%)															
<i>Salix rorida</i>						0.9	2.2								
<i>Toisusu urbaniana</i>	22.5	42.4	50.9	33.3	9.7	0.3		28.3	35.4	13.9					
<i>Salix sachalinensis</i>		18.1	14.2		1.4	19.4	42.7	6.0	8.0	6.4					
<i>Chosenia arbutifolia</i>	22.7		8.0	46.1	13.7	19.5		57.6	15.3	26.2					
<i>Populus maximowiczii</i>	47.3	0.4		18.1	63.5	35.2		4.4	11.1	13.8	78.0	14.9			
<i>Salix pet-susu</i>		29.2	3.3	2.5	1.9	20.3	21.8	1.3	10.3	10.6					
<i>Salix gracilistyla</i>															
<i>Alnus hirsuta</i>	3.2	4.3	20.2		1.3	3.2	24.6	0.2	15.3	12.7	7.3			2.3	
<i>Alnus maximowiczii</i>	0.2	1.3	2.7		1.4	0.2			1.8	15.6				1.6	
<i>Fraxinus mandshurica</i> var. <i>japonica</i>	0.1				0.7		0.1	0.1	0.2		2.3		38.7	3.4	30.8
<i>Ulmus laciniata</i>											1.3	18.0		2.0	23.2
<i>Ulmus davidiana</i> var. <i>japonica</i>													20.8		16.5
<i>Juglans mandshurica</i> var. <i>sieboldiana</i>		0.2										40.2		5.1	20.9
<i>Acer mono</i>	1.2				1.7				0.6	0.1		7.6	1.9	1.4	0.4
<i>Acer japonicum</i>					0.2			0.1			0.6			4.0	
<i>Betula platyphylla</i> var. <i>japonica</i>						0.6		0.3						4.6	
<i>Betula ermanii</i>	0.5		0.7		0.2			1.6		0.2				1.1	12.0
<i>Phellodendron amurense</i>	0.1												25.1	2.7	
<i>Abies sachalinensis</i>											8.0			34.2	
<i>Prunus ssiiori</i>									0.3			19.2			2.9
Others	2.3	4.1			4.2	0.4	8.6	0.3	1.8	0.5	2.4	0.2	7.8	31.3	5.4

表-2. 冠水頻度区分ごとの立地環境の違い

Comparison of environmental variables among geomorphic surfaces by Kruskal-Wallis test.

	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	Kruskal-Wallis test	
	Mean±SE	Mean±SE	Mean±SE	Mean±SE	χ^2	<i>p</i>
Gravel (%)	84.00±4.02 ^a	0.80±0.55 ^b	15.03±14.63 ^b	4.66±1.14 ^b	12.83	<0.01
Coarse sand (%)	5.27±1.91 ^b	5.93±1.62 ^b	9.85±2.44 ^b	51.63±5.24 ^a	11.777	<0.01
Medium sand and fine sand (%)	7.04±2.50 ^b	35.10±9.60 ^a	23.68±4.77 ^{ab}	34.63±3.18 ^a	11.983	<0.01
Very fine sand (%)	2.32±0.63 ^b	32.79±5.00 ^{ab}	33.26±8.00 ^a	5.71±2.68 ^{ab}	12.737	<0.01
Silt and clay (%)	1.38±0.56 ^b	25.38±5.25 ^a	18.19±5.23 ^{ab}	3.38±1.18 ^{ab}	13.274	<0.01
A-layer (cm)	0.28±0.26 ^b	1.52±0.24 ^{ab}	1.96±0.19 ^a	3.00±0.43 ^a	15.067	<0.01
Soil moisture (%)	1.89±1.15 ^b	36.64±2.80 ^a	29.87±5.00 ^a	31.45±3.36 ^a	11.626	<0.01
Nitrogen (%)	0.01±0.01 ^c	0.14±0.06 ^b	0.42±0.12 ^b	1.01±0.14 ^a	15.733	<0.01
Carbon (%)	0.68±0.12 ^b	2.93±0.96 ^{ab}	7.59±1.60 ^{ab}	16.87±1.70 ^a	17.103	<0.01

各変数については平均値±標準誤差で表示した。アルファベットの違いは Bonferroni の不等式による有意水準の補正を行った後、Mann-Whitney の *U* 検定により有意差が認められたことを示す。

Note: Environmental variables are expressed by mean±SE. Means followed by the same letter in a column are not significantly different from each other by Mann-Whitney *U*-test, conservatively adjusted with a Bonferroni procedure.

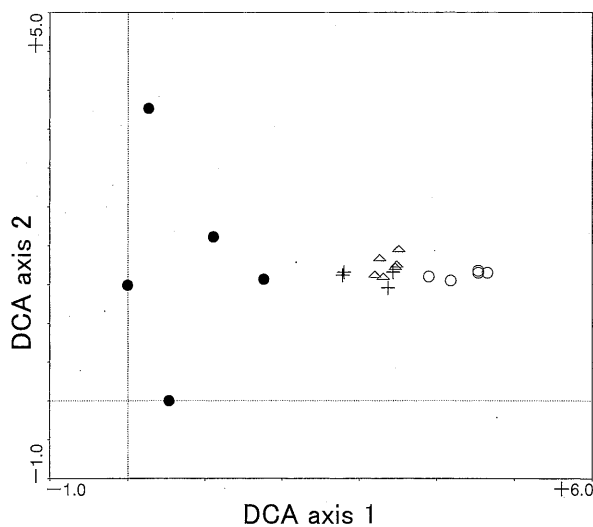


図-2. DCA による解析結果
DCA ordination diagram of plots.

○, Level 1; +, Level 2; △, Level 3; ●, Level 4.

根元直径から算出した相対優占度を用いた。その結果、各調査区は第1軸上で区分され、冠水頻度が低い調査区ほど、第1軸のウェイトが低い範囲にプロットされた。同じ冠水頻度区分のプロットは、まとまって分布しており、同じ冠水頻度区分の林分は種組成が類似していることがわかった。

各軸と立地環境の相関係数を表-3に示す。土壌の有機物含有率を表す窒素含有率、炭素含有率、有機物層と粗砂および細砂が第1軸と負の相関を示し、礫の割合が正の相関を示した。また、第2軸と立地環境との相関は低かった。

以上より、冠水頻度が低い調査区ほど第1軸のウェイトが低い範囲にプロットされ、第1軸と土壌の有機物含有率および粗砂、細砂が負の相関が高いことから、冠水頻度が低い調査区ほど土壌の有機物含有率および粗砂、細砂が多いことがわかった。また、冠水頻度が高い調査区ほど第1

表-3. DCA 分析の結果と評価軸と立地環境の相関

Results of DCA analysis and correlations of standardized environmental variables with the first and second DCA axes.

Axis	1	2
Eigenvalues	0.741	0.24
Species-environment correlations	0.966	0.723
Cumulative percent variance of species data	32.6	43.2
of species-environment relation	43.7	56.4
Weighted correlation		
Gravel	0.5728	-0.0847
Coarse sand	-0.897	0.1241
Medium sand and fine sand	-0.5465	0.1019
Very fine sand	0.2234	-0.0523
Silt and clay	0.2256	-0.0173
A-layer	-0.7826	0.4220
Soil moisture	-0.4781	-0.0483
Nitrogen	-0.8555	0.0606
Carbon	-0.8616	0.0655

軸のウェイトが高い範囲にプロットされ、第1軸と礫が正の相関が高いことから、冠水頻度が高い調査区ほど礫が多いことがわかった。

2. ダムの流量調節による冠水頻度の変化

図-3にダムの運用前、運用後における調査区の冠水頻度区分の変化図(全調査区域の一部)を示す。ダムによる流量調節による確率水位の低下によって、毎年冠水していたレベル1の区域が2年に1度は冠水するレベル2と20年に1度は冠水するレベル3に変化し、レベル2とレベル3であった区域が、ダム運用後は冠水頻度によると20年に1度の規模の洪水でも冠水しないレベル4に変化したことがわかった。調査区全体では、レベル4が11から70%に増加、レベル1, 2, 3はいずれも15から20%減少し(表-4)、河床全体の冠水頻度が大幅に低下することがわかった。

3. 更新木の種組成

レベル4のすべての調査区とレベル3の一つの調査区では、林床にミヤコザサ (*Sasa nipponica*) が繁茂しており、更新木はなかった。レベル2, 3では、ヤチダモが

もっとも多く、他にはヤマモミジ (*Acer amoenum* var. *matsumurae*), イタヤカエデ (*Acer mono*), ハウチワカエデ (*Acer japonicum*) などカエデ属の種が多かった(表-5)。レベル2では、haあたり約8,000から30,000本、レベル3では約4,000から32,000本の更新木が生育していた。

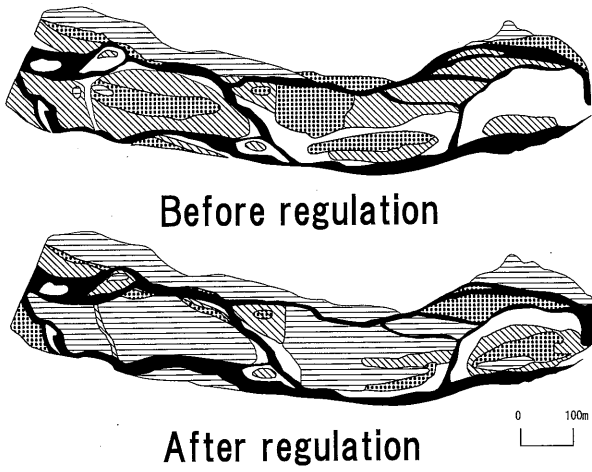


図-3. ダムの流量調節による冠水頻度区分の変化図
Variation of geomorphic surfaces defined by flood recurrence interval before and after the dam regulation.
□, Level 1; ▨, Level 2; ▩, Level 3; ▪, Level 4; and ■, Open water.

V. 考 察

北海道の河畔林では、洪水攪乱の強度と頻度の違いによって、環境の異なる立地が形成され、それに応じて種組成の異なる河畔林が形成されるといわれている(有賀ら, 1996; Nakamura *et al.*, 1997)。本研究においても、ダム運用以前、冠水頻度の高いレベル1であった区域では、ヤナギ属の更新木が繁茂し、レベル2とレベル3ではケショウヤナギを中心としたヤナギ科植物の林分が成立してい

表-4. ダムの流量調節による冠水頻度区分の変化
Variation of geomorphic surfaces defined by flood recurrence interval before and after the dam regulation. (%)

	Before regulation	After regulation
Level 1	22.1	6.0
Level 2	32.7	12.7
Level 3	33.8	11.3
Level 4	11.4	70.4

表-5. 各調査区における出現更新木の相対優占度
Relative percentage of total basal areas of seedlings (<1.3 m in height).

	Quadrat															
	Level 1					Level 2					Level 3					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Number of trees/ha	60400	11600	163600	26000	75000	42000	8800	10000	16800	30800	4000	—	5200	6800	32000	
Average diameter at base height (cm)	1.10	1.15	0.97	1.22	1.16	0.62	0.84	0.67	0.37	0.81	0.66	—	0.79	0.71	0.67	
Basal area (m ² /ha)	70117	13302	151340	35271	85942	1876	621	432	270	2069	163	—	184	205	854	
Species/Relative basal area (%)																
<i>Salix rorida</i>	10.3	1.9	3.1	1.7	9.1											
<i>Toisusu urbaniana</i>	11.0	13.8	0.1	16.9												
<i>Salix sachalinensis</i>	2.8	18.2	4.9	1.6	32.9											
<i>Chosenia arbutifolia</i>			12.1	6.4												
<i>Populus maximowiczii</i>			4.0	0.1	10.3	3.3										
<i>Salix pet-susu</i>	70.5	50.0	55.6	38.2	41.4											
<i>Salix gracilistyla</i>	4.9			32.3	24.8	13.3										
<i>Alnus hirsuta</i>	0.5															
<i>Alnus maximowiczii</i>			3.8													
<i>Fraxinus mandshurica</i> var. <i>japonica</i>						49.5	22.7	61.2	37.0	79.7	3.4	73.4	45.3	38.0		
<i>Ulmus</i> spp.									3.2	2.0	1.6	15.9	1.5			
<i>Juglans mandshurica</i> var. <i>sieboldiana</i>											2.9					
<i>Acer mono</i>						4.5	17.8	18.0	5.8	8.1	5.3	10.7	1.9	15.2		
<i>Acer japonicum</i>						8.6	10.2				38.2					
<i>Betula ermanii</i>											3.2	38.2				
<i>Abies sachalinensis</i>						0.5			2.9	1.2						
<i>Prunus ssiiori</i>						6.3					1.7					
<i>Cercidiphyllum japonicum</i>								26.8	2.9				5.3	6.1	1.5	
<i>Kalopanax septemlobus</i>						7.4					35.6					
<i>Acer amoenum</i> var. <i>matsumurae</i>						4.1	19.3	10.1	9.2				34.6	29.4	6.6	
Others						19.1					6.5	10.5	13.0	6.1	22.7	

た。また冠水頻度の低いレベル4では、ヤチダモ、オニグルミ、ハルニレなど、十勝地方が属するミズナラ植生域において、中性-湿性土壌の遷移後期群落を形成するとされている種(伊藤, 1987)が多くみられた。また、立地環境の分散分析およびDCAから、冠水頻度が低い調査区ほど土壌の有機物含有率および粗砂、細砂が多く、冠水頻度が高い調査区ほど礫が多いことがわかった。

ケショウヤナギ、オオバヤナギ、ドロノキはヤナギ科植物の中でも、粒径の粗い立地に分布するといわれている(新山, 1989; 栗田, 1999)。これら3種の稚樹は、樹高の2~3倍という深い垂直根を持ち、地下水位の利用または攪乱に対する個体の維持という点から、礫質砂礫堆での生育に特に適しているといわれている(本間ら, 2002)。しかし、本研究では、これら3種が最も多く分布していたレベル2, 3の土壌は、シルト、微細砂が多い傾向にあった(表-2)。植物が礫質な土壌に定着後、洪水によって冠水することで表層に微細な土砂が堆積する現象は段丘化した河川氾濫原でみられ(藤田ら, 1996)、その後の植生定着や河床地形に影響を与えるといわれている(李ら, 1999)。よってレベル2, 3のシルト、微細砂は、礫質な土壌にヤナギ科植物の定着した後に洪水によって冠水し、堆積したと推察される。

Nakamura and Shin (2001)は、歴舟川における冠水頻度区分と種組成の関係および札内川における砂礫堆の冠水頻度の変化から、ダムによる流量調節によって、河床全体が2年以下の確率で頻繁に冠水する面と、40年以上の洪水確率でも冠水しない面に二極分化するとしている。ケショウヤナギは、洪水による攪乱によって成立した砂礫堆を更新サイト(safe site)として利用するが、定着後頻繁に冠水をうけると、稚樹が流失してしまうため、稚樹が成長し母樹となる2年から20年までの間攪乱を受けない地形面も必要とする。よってこの二極分化は、ケショウヤナギの更新サイトを減少させ、遷移後期種の分布を拡大させる可能性があることを示唆している。

本研究によって、ダムの運用後はレベル1が22%から6%に減少することがわかった。ダム運用前の冠水頻度の高いレベル1は、他の冠水頻度区分と比較して、礫質で乾燥した環境が特徴的であった。札内川において、このような立地環境では、ケショウヤナギ、オオバヤナギが優占して更新するとされていた(新山, 1989; 栗田, 1999)。よってこのレベル1の減少は、ヤナギ科植物の更新サイトの減少を意味し、今後ヤナギ科植物の更新が行われず、現在のヤナギ林はいずれ衰退していくと考えられる。

札内川において、ダム運用以前は、2年に1度規模の洪水は200 m³/sであったが、ダム運用後の最大放流量は150 m³/sである。そのため、ダム運用後レベル3, 4の場所が冠水することは、ほぼないと考えられる(図-3)。本研究結果から、冠水頻度が低くなるほど、有機物含有率、微細砂成分が増加し、結果的に土壌水分量も増える傾向にあることから(表-2)、ダムの運用によって冠水頻度が低

下し、レベル2, レベル3から4へ変化した立地では、今後有機物含有率や土壌水分量が増加すると考えられる。また、更新木調査において、レベル2, 3ではヤチダモが最も優占する調査区が、9区中7区認められた(表-5)。ヤチダモは、土壌水分が十分存在するが、過湿にならないところで主に出現し(阿部ら, 1989; 八坂ら, 1993)、多量の栄養塩類を要求する樹種であるといわれている(津田, 1985)。そのため、冠水頻度の低下による土壌の安定と微細砂の堆積、それにとりもなう有機物含有率、土壌水分量の増加によって、レベル2, 3の区域は遷移後期種であるヤチダモにとって更新に適した立地となっていくと考えられる。Johnson (1994)は、Missouri川の支川砂洲の安定化がヤナギ科植物の侵入を促進し、それによって微細砂の堆積が促進され、いっそう砂洲が安定化する可能性を指摘している。さらに、この微細砂の堆積は土壌養分を増加させ、砂洲の樹種は遷移後期種へ移行する可能性を示唆している。

また、本調査区間において、ケショウヤナギ、オオバヤナギが優占して更新するとされてきた、ダム運用前冠水頻度が高かったレベル1では、ケショウヤナギの優占度は低く、エゾノキヌヤナギを中心としたヤナギ属の更新木の相対優占度がいずれの調査区でも50%を超え、75%を超えた調査区も5区中2区あった(表-5)。粒径が粗い、水分が少ないといった、ケショウヤナギが定着する立地環境の特徴は、ヤナギ属が繁茂したプロットでも認められたため、立地環境の変化によるものではないと考えられる。そのほかの影響として、開花時のレベル1の冠水状態が考えられる。今回多く確認されたエゾノキヌヤナギの開花は5月下旬から6月初旬、オノエヤナギは6月初旬と、ヤナギ科植物のなかでも開花が早い種である。一方ケショウヤナギは7月初旬と遅い。そのため、本来融雪出水期である5月下旬から6月にかけて冠水していた砂礫堆が、ダムの運用によって流量が少なく冠水していなかったため、ヤナギ属が先に定着した可能性がある。以上から、レベル1においてケショウヤナギではなくヤナギ属の更新木が繁茂した要因の一つとして、ダムによる融雪出水期の冠水頻度の変化が考えられる。

以上のことから、ダムによる流量調節による冠水頻度の減少によって、札内川の河畔林では、現在のヤナギ科植物は更新サイトの減少によって衰退し、立地環境が現在更新木として下層にある遷移後期種に適したものとなるため、ヤチダモやカエデ属などの遷移後期種の優占林へ遷移すると思われる。それにとりもない、希少種であるケショウヤナギが衰退することが予想されることから、今後は新たな保全対策を講じる必要があると考えられる。

本研究をすすめるにあたり、九州大学の今田盛生教授、吉田茂二郎助教授のご尽力をいただいた。北海道開発局帯広開発建設部から横断測量成果および流量データを提供していただいた。北海道大学の矢島 崇教授、菊池俊一助

手, 札幌市豊平川さけ科学館の有賀 望氏には有意義なご指摘をいただいた。また, 北海道大学農学部・農学研究科の学生諸氏には野外調査に協力していただいた。ここに感謝を表す。なお, 本研究を実施するにあたり, 文部科学省科学研究費(13460061, 14506039, 14380274)の助成を受けたことを附記する。

引用文献

- 阿部信行・江州克弘・薄井五郎(1989)ヤチダモ人工林の樹高成長と地下水位高及び植生. 日林北支論 37: 128-130.
- 有賀 誠・中村太士・菊池俊一・矢島 崇(1996)十勝川上流域における河畔林の林分構造および立地環境—隣接斜面との比較から—. 日林誌 78: 354-362.
- 浅見和弘・斎藤 大・児玉奈美子・渡辺 勝(2001)三春ダム下流河川の植生変化. 植生学会誌 18: 1-12.
- 藤田光一・Moody, J. A.・宇多高明・藤井政人(1996)ウオッシュロードの堆積による高水敷の形成と川幅縮小. 土木学会論文集 551 (II-37): 47-62.
- Harris, R. R., Fox, C. A., and Risser, R. (1987) Impacts of hydroelectric development on riparian vegetation in the Sierra Nevada region, California, USA. *Environ. Manage.* 11: 519-527.
- Hill, M. O. and Gauch, H. G. (1980) Detrended correspondence analysis, an improved ordination technique. *Vegetation* 42: 47-58.
- 北海道開発局帯広開発建設部(2001)札内川ダム工事誌. 495 pp.
- 北海道開発局帯広開発建設部札内川ダム管理所(2000)第6回札内川ダムモニタリング部会資料. 253 pp.
- 本間雅枝・矢島 崇・菊池俊一(2002)ケシヨウヤナギ・オオバヤナギ・ドロノキ稚樹の器官量配分と地下部形態. 日林誌 84: 41-44.
- 伊藤浩司(1987)ブナ-ミズナラ帯. (北海道の植生. 伊藤浩司編, 378 pp, 北海道大学図書刊行会, 札幌). 237-281.
- Johnson, W. C. (1994) Woodland expansion in the Platte River, Nebraska: Patterns and causes. *Ecol. Monogr.* 64(1): 45-84.
- Johnson, W. C., Burgess, R. L., and Keammerer, W. R. (1976) Forest overstory vegetation and environment on the Missouri River floodplain in North Dakota. *Ecol. Monogr.* 46: 59-84.
- 鎌田磨人・岡部建人・小寺郁子(1997)吉野川河道内における樹木および土地利用型の分布の変化とそれに及ぼす流域の諸環境. 環境システム研究 25: 287-294.
- 木村有香(1951)本州に於けるケシヨウヤナギの新産地. *生態学研究* 13(1): 35-36.
- 栗田 健(1999)大規模ダムによる流量調節がヤナギ科群落の生育立地の物理環境と初期生育に与える影響. 北海道大学大学院農学研究科修士論文. 53 pp.
- 中村太士(1999)ダム構造物が水辺林の更新動態に与える影響. *応用生態工学* 2(2): 125-139.
- Nakamura, F. and Shin, N. (2001) The Downstream effects of dams on the regeneration of riparian tree species in northern Japan. *In* *Geomorphic processes and riverine habitat. Water science and application, volume 4.* 253 pp, American Geophysical Union, Washington, D. C., 173-181.
- Nakamura, F., Yajima, T., and Kikuchi, S. (1997) Structure and composition of riparian forests with special reference to geomorphic site conditions along the Tokachi River, northern Japan. *Plant Ecol.* 133: 209-219.
- 日本気象協会北海道本部(1992)アメダス気象資料十勝支庁. (1992年版北海道のアメダス統計 I. 札幌管区気象台編, 417 pp, 日本気象協会北海道本部, 北海道). 275-315.
- 新山 馨(1987)石狩川に沿ったヤナギ科植物の分布と生育地の土壌の土性. *日生態会誌* 37: 163-174.
- 新山 馨(1989)札内川に沿ったケシヨウヤナギの分布と生育地の土性. *日生態会誌* 39: 173-182.
- 李 参熙・藤田光一・山本晃一(1999)礫床河道における安定植生域拡大のシナリオ—多摩川上流部を対象にした事例分析より—, *水工論集* 43: 977-982.
- Rood, S. B. and Heinze-Milne, S. (1989) Abrupt downstream forest decline following river damming in southern Alberta. *Can. J. Bot.* 67: 1744-1749.
- 崎尾 均・鈴木和次郎(1997)水辺の森林植生(溪畔林・河畔林)の現状・構造・機能および砂防工事による影響. *砂防学会誌* 49: 40-48.
- 進 望・石川慎吾・岩田修二(1999)上高地・梓川における河畔林のモザイク構造とその形成過程. *日生態会誌* 49: 71-81.
- 高山茂美(1974)河川地形. 304 pp, 共立出版, 東京.
- 館脇 操(1948)ケシヨウヤナギの分布と群落. *生態学研究* 11: 77-86.
- Ter Braak, C. F. J. (1988) CANOCO, a FORTRAN program for canonical community ordination. *Microcomputer Power, Ithaca.*
- 津田耕治(1985)ヤチダモ苗木の生育に及ぼす養分要素欠除の影響. *日林北支論* 96: 205-206.
- 八坂通泰・菊池 健・山田健四(1993)ヤチダモの直径成長に及ぼす環境ストレスの影響. *日林北支論* 41: 220-222.