

(12) 中小河川における水生昆虫相の多様性に及ぼす河畔林の影響

EFFECT OF RIPARIAN FOREST ON DIVERSITY OF AQUATIC INSECTS
IN A MIDDLE-SMALL SIZE RIVER

相澤治郎*, 伊藤歩*, 石毛孝慈**, 荒川真輔*, 海田輝之*

Jiro AIZAWA*, Ayumi ITO*, Koji ISHIGE**, Shinsuke ARAKAWA* and Teruyuki UMITA*

ABSTRACT; The effect of riparian forest on water environment was studied in the River Miyamori, Iwate prefecture, based on the data on water quality, aquatic insect communities, flowing organic matter, sediment particle distribution and chlorophyll- α on the artificial substrate. The riparian forest located in the upper and middle water regions increased the flux of flowing organic matter and the amount of organic matter in the riverbed, resulting in an increase in the number of individuals and taxa of aquatic insect. It was found that the individual number of shredder and the flux of flowing organic matter with a size of more than 3.35 mm had a good correlation and the value of Shannon Diversity Index of aquatic insect was increased.

KEYWORDS; Riparian Forest, Organic Matter, Water Environment, Aquatic Insect

1. はじめに

これまで、多くの中小河川では治水事業による河川の拡幅や直線化に伴い河畔林が伐採され、物理的且つ生物学的な多様性が失われてきた。河畔林の有用性としては、一般的に、多様な生物の住み場の提供、夏季における水温上昇の抑制、魚類や水生昆虫への餌の供給等、様々な生態学的機能が論じられている^{1)~7)}。今後、中小河川における良好な水環境の保全を一層推進する際、河畔林を維持あるいは復元することは、水環境に生息する生物の多様性を維持する上で極めて重要な課題になると考えられる。しかしながら、河畔林をどの位置にどの程度の間隔と規模で配置すれば、その機能を十分に発揮できるかと言った定量的な議論はほとんど行われていないのが現状である。

以上の背景から、本研究では、河畔林が水環境に及ぼす影響を把握する上での基礎的知見を得るために、流程が約 14km で河川改修工事が終了し、上流域及び中流域に河畔林を残している中小河川を対象として、水質、河床材料、河川水中の流下有機物量並びに水生昆虫相を調査し、河畔林の存在と水生昆虫相の多様性との関連性について検討した。

2. 対象河川の概要

調査の対象とした宮守川は、岩手県のほぼ中央に位置する上閉伊郡宮守村の中心部を流下し、北上川 5 大ダムの一つである田瀬ダムを有する北上川水系猿ヶ石川に合流する流域面積 47.20km²、流路延長 13.80km、河床勾配が上流域で 1/50、中流域で 1/125 の河川である。

*岩手大学工学部建設環境工学科 (Department of Civil and Environmental Engineering, Iwate University)

**建設技術研究所 (CTI Engineering Co., Ltd)

宮守川流域は、平成2年の集中豪雨により甚大な被害を受けた。そこで、岩手県では県営ほ場整備と事業調整を図りながら、約9kmに渡って河川改修工事を平成9年度から平成13年度まで実施した。

図-1に調査地点の概要を示す。調査地点は最上流部をSt.1として計5ヶ所設置した。表-1に各地点における環境条件を示す。St.1は溪流の最下流部に位置し、河畔林を有した未工事地点であり、St.4付近は改修区間の直上に位置し、左岸沿いに約1.75kmの広葉樹を主とする河畔林を残した地点である。St.2からSt.3、St.4からSt.5の区間は覆土した護岸に植生があるのみで河畔林は存在しない。St.3は工事区間外で旧来のコンクリート護岸を有しており、川岸に堆積した砂の上にツルヨシが群生していたが、11月に行われた護岸工事に伴い除去された。日照条件としては、St.1とSt.4は水辺林に囲まれているため、他の地点に比べて日射量が比較的に少なくなっている。

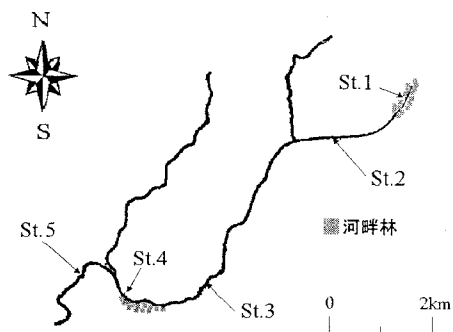


図-1 調査地点

表-1 調査地点の環境条件

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
河畔林	○	-	-	○	-
河岸植生	○	△	※	△	△
日照	×	○	○	△	○
地点間距離	-約2km-約4km-約2km-約1km-				

※護岸工事により11月からツルヨシ群等が除去された。

3. 調査方法

調査は、平成14年10月11日、10月30日、11月21日、12月16日の計4回実施し、調査項目は、流量、水質、水生昆虫相、粒径別流下有機物量、河床内有機物量、河床粒度分布、付着物中のChl-a量とした。ただし、10月11日は水質と水生昆虫相のみ調査を行った。

水生昆虫の採集は、25cm×25cmのコードラードの付いたサーバーネット（38メッシュ/inch²）を用いて各地点で2回ずつ行った。標本は80%エタノール溶液で固定し、実験室で実体顕微鏡を用いてできる限り種まで同定し、種別毎に個体数を計数した^{8),9)}。

流下有機物量についてはいくつかの報告^{10),11)}があるが、ここでは径300mmで孔径6.7mm、3.35mm、1mmのふるいを重ねてほぼ流心に10分間置き、各ふるいに留まった流下物の強熱減量とした。また、溶存態有機物（DOC）と粒子態有機物（POC）についても検討した。DOCは採取した河川水を孔径1μmのフィルターでろ過したろ液の有機炭素量とし、POCは河川水（1mm以下）を超音波破碎し、その有機炭素量からDOCを減算したものとした。また、付着藻類は10月7日～12月16日までの71日間、河床に設置したモルタル製付着板（30cm×30cm×5cm）から採取し、付着物中のChl-a量を測定した。なお、以上の項目と水質の測定は、河川水質試験方法（案）¹²⁾に準拠して行った。

河床材料は、水生昆虫の採取と同様のサーバーネットを用いてコードラード25cm×25cmの範囲について深さ方向に約10cmの河床の底質を採取し、0.15mm～100mmまでのふるいをを用いてふるい分けを行い、粒径加積曲線を作成し、均等係数を求めた¹³⁾。また、河床内有機物量は採取した底質の水生昆虫を除いた強熱減量とし、粒径別には測定していない。なお、水生昆虫と河床材料の採取及び付着板の設置位置は各調査地点の平瀬とした。

表-2 調査地点の流況

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
川幅 (m)	2.6	3.2	7.0	8.1	7.0
水深 (cm)	18	21	21	22	21
流速 (m/s)	0.46	0.57	0.59	0.63	0.62
流量 (m ³ /s)	0.11	0.18	0.76	0.83	1.15

4. 調査結果及び考察

4. 1 調査地点の流況と水質の概要

表-2 に各調査地点における川幅、水深、流速及び流量の平均値を示す。なお、水深及び流速は水生昆虫の採取位置のものである。各調査地点とも水深は 20cm 前後であり、流速は 0.46～0.63m/s の範囲であり、下流に行くに従って大きくなる傾向を示した。

表-3 に各調査地点における水質の平均値を示す。水質は全地点とも比較的良好であった。pH は 7～8 で、SS は工事が行われている時点を除いて 8mg/l 以下であった。DO は全地点でほぼ飽和しており、BOD は上流部で平均 1.8mg/l、下流部で 2.4mg/l であった。総リンは SS が高い場合は 0.04mg/l 程度で、その他の場合は 0.03mg/l 程度であり、無機態リンが 1/3 程度を占めていた。総窒素は 1mg/l 程度であり、硝酸態及び有機態の割合が高かった。

4. 2 河床材料の粒度分布と河床内有機物

図-2 に各調査地点における河床材料の粒径加積曲線を示す。図中の値は調査 4 回のデータの合計であり、粒径の範囲は 0.15mm～50mm とした。全体を見ると、St.1 は比較的細砂、中砂の割合が多く、St.2 は中砂から砂礫分が多いことが分かる。

図-3 に各調査地点における河床材料の均等係数 (U_c) を示す。この図から、St.2 はほぼ粒径がそろっており、St.1 は粒度分布が良く、St.3～St.5 はそれらの中間値を示した。これより、St.1 の河床は粗砂以下の粒径が小さな粒子が多く、粒度分布が広いことから

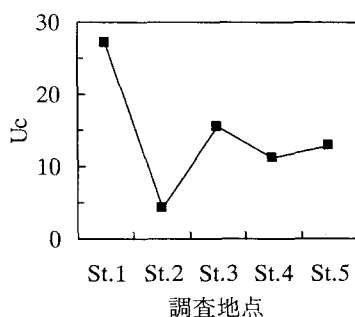


図-3 河床材料の均等係数

粒子間の間隙は少なく、一方、St.2 は中砂から砂礫分が多く、その粒径がそろっていることから他の地点と比べて間隙は大きいと考えられる。

図-4 に各調査地点における河床内有機物量を示す。河床内有機物量は、細砂、中砂の割合が比較的多い St.1

表-3 調査地点の水質の平均値

調査地点	1	2	3	4	5
pH	7.1	7.3	7.7	7.9	7.9
SS (mg/l)	2	2	4	5	3
DO (%)	98	100	105	104	107
BOD (mg/l)	1.8	2.0	2.2	2.4	2.3
TOC (mg/l)	1.3	1.4	1.6	1.5	1.5
T-N (mg/l)	0.64	0.95	0.99	1.08	0.92
NH ₄ ⁺ -N (mg/l)	0.011	0.018	0.016	0.026	0.011
NO ₂ ⁻ -N (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
NO ₃ ⁻ -N (mg/l)	0.27	0.52	0.56	0.61	0.57
Org-N (mg/l)	0.35	0.40	0.40	0.44	0.33
T-P (mg/l)	0.026	0.031	0.031	0.031	0.030
PO ₄ ³⁻ -P (mg/l)	0.011	0.011	0.014	0.015	0.013

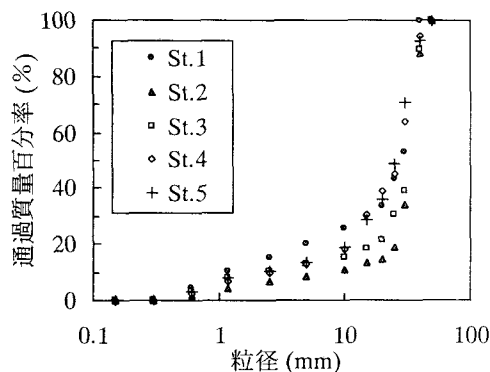


図-2 河床材料の粒径加積曲線

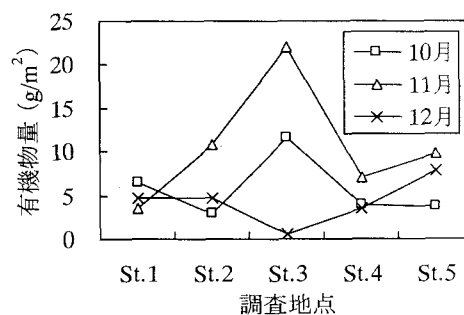


図-4 河床内有機物量

以外の地点では落葉直後の11月に増加し、その後、減少する傾向を示した。また、11月での河床内有機物量の増加は、後述するように落葉時期に流下有機物量が増加し、その堆積が促進したためと考えられる。

4. 3 流下有機物量

図-5に粒径別流下有機物量を示す。地点毎に見ると、河畔林を有するSt.1は6.7mm以上の粒径の流下有機物量が多いことが分かる。流下有機物全体としては、流下に伴ってSt.3までは減少し、河畔林を有するSt.4以降で若干増加する傾向が見られた。

図-6に各調査地点における河川水中のPOCとDOCの濃度を示す。DOC濃度はSt.3を除いて、11月で低下する傾向を示した。POC濃度はSt.3を除いて11月に高い値を示し、主に上流部から供給された落葉等の破砕物の増加によるものと考えられる。

これらの結果から、本調査の期間では河畔林の存在が上流域はもとより中流域においても流下有機物量に大きく影響することが分かった。

4. 4 水生昆虫相

図-7に各調査地点における水生昆虫の個体数、図-8に各調査地点における種数を示す。なお、図中の個体数及び種数は、採集2回分を合わせた値になっている。また、表4に全調査を通して出現した水生昆虫を示す。水生昆虫の総個

体数は3370、総種数は65であった。各地点での個体数は、St.1からSt.2で増加するが、St.3で減少し、St.4以降で再度増加する場合も見られた。種数の流下に伴う変化は、St.1からSt.3にかけて個体数と同様な変化を示したが、St.3からSt.4にかけて顕著に増加する傾向を示した。St.2で個体数、種数共に多かったのは、河床材料の粒度分布でも述べたように河床の間隙が他の地点に比べて多いことも要因の一つであると考えられる。一方、上流域に河畔林を有するSt.1では、底質の間隙が他の地点に比べて小さいにもかかわらず、種数が比較的多かった。これは他の地点では見られない多種のナガレトビケラ科が生息していたためである。

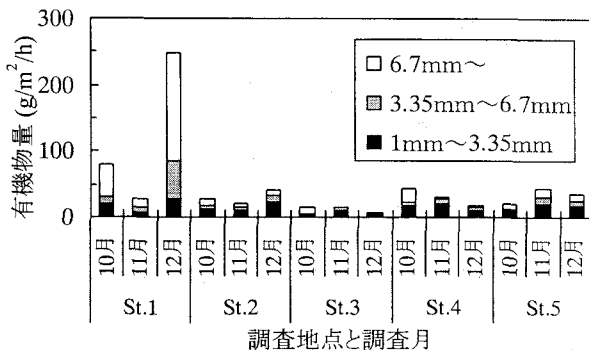


図-5 粒径別流下有機物量

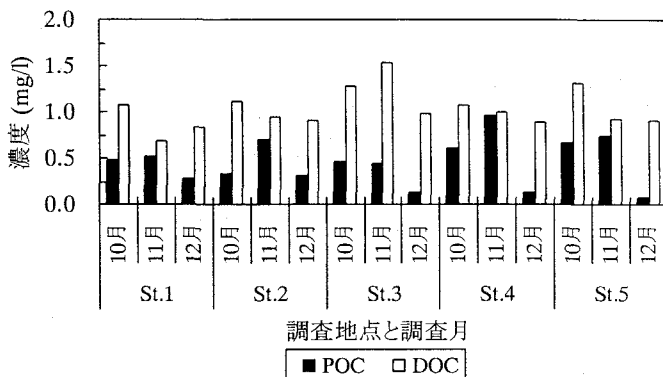


図-6 POCとDOCの濃度

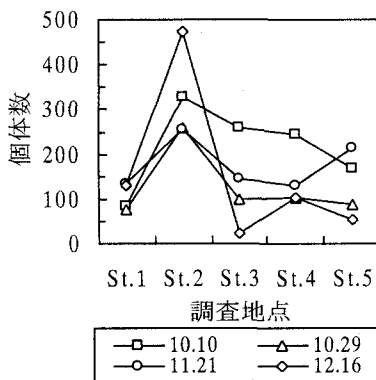


図-7 水生昆虫の個体数

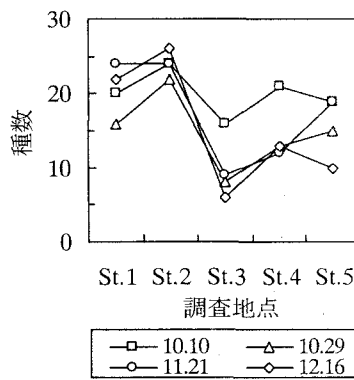


図-8 水生昆虫の種数

表-4 全調査を通しての水生昆虫の総出現種

学名	和名	合計	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	合計	学名	和名	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	合計
Plecoptera	せき翅目								Trichoptera	毛翅目						
Amphinemura sp.	アミホカガ' 属	1	3					4	Hydropsyche orientalis	ウミシジメ' 属	38	109	114	143	163	567
Protonemura sp.	プロトネムラ' 属	1	1					1	Chumatopsyche brevinata	コガ' シジメ' 属	3	39	117	182	117	458
Neoperla sp.	ネオペル' 属	1						1	Hydropsyche sp. HC	シジメ' 属 HC	1	16	4	12	5	38
Niponiella sp.	ニポニェル' 属	1	1					1	Senopsyche marmorata	ヒメ' カ' カガ' 属	1	4		5	4	13
Oyamia sp.	オヤミア' 属	1						1	Senopsyche sauteri	オヤミ' カガ' 属	22	1				23
Isoperla atziana	アイゼル' アツィア' 種	1	4	1				3	Rhyacophila kisoensis	ヒメ' カ' カガ' 属	5	3		1		9
Isoperla okamotoi	オホシメ' オカモト' 種	1	3	1				1	Rhyacophila nigrocephala	ヒメ' カ' カガ' 属	2	1				2
Isoperla asakawae	アサカワ' シメ' 種	1	3	1				5	Rhyacophila towadensis	ヒメ' カ' カガ' 属	6	1		1		8
Chloroperlidae	ミド' リカガ' 属	6	2	2				10	Rhyacophila brevicephala	ヒメ' カ' カガ' 属	2	3				2
Capniidae	カハカガ' 科	2	4	1				8	Rhyacophila impar	ヒメ' カ' カガ' 属	3	1				3
Ephemeroptera	蜉蝣目								Rhyacophila transquilla	ヒメ' カ' カガ' 属	96	5				101
Ephemerella sp.	エフェメラ' 属	10	23	18	13			12	Rhyacophila bilobata	ヒメ' カ' カガ' 属	1	2				3
Pseudocloeon japonica	フセドクローン' 属	10	766	118	127			73	Rhyacophila kuramana	ヒメ' カ' カガ' 属	1	1				2
Baetis sp.	ベティス' 属	1	21					22	Micrasema quadriloba	ヒメ' カ' カガ' 属	1	1				2
Ephemerella orientalis	エフェメラ' オリエンタリス' 属	15	46	1	9			81	Goerodes japonicus	ヒメ' カ' カガ' 属	1	1				1
Ephemerella rufa	エフェメラ' ルファ' 属	22	129	13	16			203	Brachycentrus americanus	ヒメ' カ' カガ' 属	1	1				2
Ephemerella nigra	エフェメラ' ニグラ' 属	11	3	6				24	Goera japonica	ヒメ' カ' カガ' 属	1	5				6
Ephemerella bifurcata	エフェメラ' ビフュルクァタ' 属	3	1					4	Goera kyotonis	ヒメ' カ' カガ' 属	8	1				9
Ephemerella trispina	エフェメラ' トリスピナ' 属	16	19	1	3			4	Limnacentropus insolitus	ヒメ' カ' カガ' 属	3	30				34
Epeorus uenoi	エペオラス' ウエノ' 属	5	10	3	6			37	Goera sp. GA	ヒメ' カ' カガ' 属 GA	3	6				9
Epeorus latifolium	エペオラス' ラティフォルム' 属	2						4	Glossosoma sp.	ヒメ' カ' カガ' 属	3	17				20
Epeorus ikanonis	エペオラス' イカノニス' 属	1	1					30	Diptera	二葉' 目	86	6				35
Epeorus curvatus	エペオラス' クラヴァトゥス' 属	1	1					4	Ceratopogonidae	ハチ' 目	6	9				183
Rhiithrogena Japonica	リヒトゲンナ' ジャポニカ' 属	1	1					3	Chironomidae	ユスリ' 目	15	6				4
Rhiithrogena saitsuki	リヒトゲンナ' サイツキ' 属	1	1					5	Simuliidae	ジ' 目	15	6				114
Ecdyonurus tigris	エドヨヌラス' ティグリス' 属	1	1					1	Antocha sp.	アントカ' 属	1	1				3
Ecdyonurus tobitronis	エドヨヌラス' トビトロンニス' 属	1	1					2	Eriocera sp. EB	エリオセラ' 属 EB	1	1				26
Ecdyonurus yoshidae	エドヨヌラス' ヨシダ' 属	1	1					1	Eriocera sp. EE	エリオセラ' 属 EE	3	2				3
Cinygmia sp.	キンギミア' 属	1	1					11	Tipula sp. TA	ティプーラ' 属 TA	10	2				23
Paraleptophlebia sp.	パラレプトフレイビア' 属	1	1					2	Pedicia sp. PA	ペディシア' 属 PA	2	1				4
Megaloptera	広翅目							1	Prinosera sp. PA	プリノセラ' 属 PA	1	3				5
Protonemura grandis	プロトネムラ' グランドリス' 種	1						1	Atherix this	アテリクス' 種	427	1316	528	579	520	3370
Odonata	蜻蛉目							1	総計	個体数	41	43	22	28	32	65
Davidius nanus	ダビディウス' ナヌス' 種							1		種数						
Anotogaster sieboldii	アノトガスター' シェイボウジ' 種							1								
Coleoptera	鞘翅目							2								
Psphenidae	ヒコバ' ムシ' 科							2								
Elmidae	ヒメ' ムシ' 科							5								

季節的な変化を見ると、St.3 と St.4 では 10 月から 12 月にかけて種数が減少していき、特に、St.3 では他の地点で出現したナガレトビケラ科や携巢性のトビケラ目は全く見られなかった。

図-9 に各調査地点における水生昆虫の生活型別存在率を示す^{14)~17)}。存在率は 4 回の調査から得られた個体数の合計を用いて算出した。St.1 は掘潜型（主にユスリカ科）や携巢型（マルツツトビケラ）の存在率が他の地点と比較して高く、St.2 では遊泳型（コカゲロウ属）、St.3 以降では造網型（シマトビケラ科）が高かった。また、季節毎の優占種は、10 月が St.1 ではマルツツトビケラ、St.2 ではコカゲロウ属、St.3 以降ではシマトビケラ科であった。11 月は St.1 でユスリカ科が優占種となったが、St.2 以降では 10 月と同様な傾向を示した。12 月は St.1 で再びマルツツトビケラが優占し、St.3 ではコカゲロウ属が優占し、他の地点は 10 月、11 月と同様の傾向を示した。

表-5 に各調査地点間での水生昆虫の群集類似度指数¹⁸⁾を示す。群集類似度指数は値が 1 に近いほど両地点の水生昆虫の群集構造が良く類似していることを表す。表中の値は調査 4 回分を合わせて算出した。St.1 と St.2 の類似度指数はどの地点と比較しても低く、両地点の水生昆虫は類似していない。一方、St.3、St.4 及び St.5 の 3 つの地点については値がほぼ 1 に近く、群集構造が類似している。これは、先に示した河床材料の均等係数の結果からも分かるように St.3~St.5 の河床の粒度分布が類似しており、水質もさほど変化がないことから、これらの地点が優占種のシマトビケラ科にとって良好な住み場を提供しているためと考えられる。

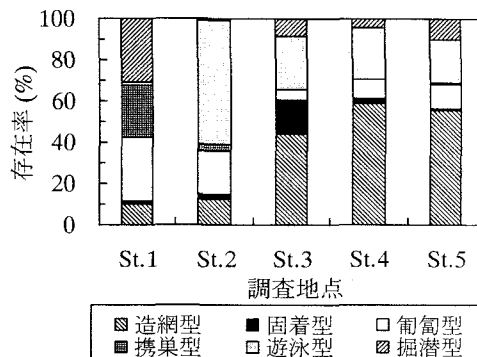


図-9 水生昆虫の生活型別存在率

表-5 水生昆虫の群集類似度指数

	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
St.1	-	0.13	0.29	0.24	0.34
St.2		-	0.60	0.57	0.54
St.3			-	0.92	0.91
St.4				-	0.97
St.5					-

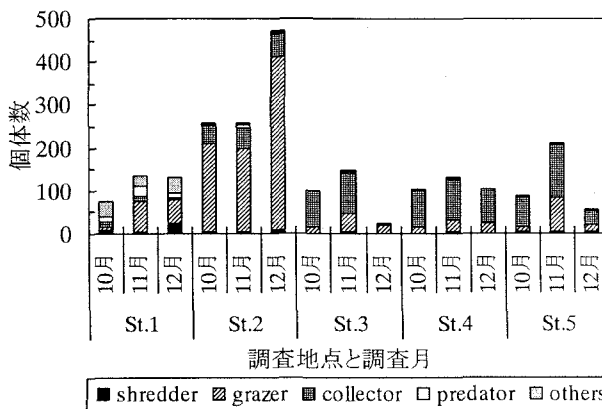


図-10 水生昆虫の摂食機能群別個体数

4. 5 河畔林と水生昆虫相の多様性との関連性

図-10 に各調査地点における水生昆虫の摂食機能群別総個体数を示す(10月の値は30日の調査結果である)。摂食機能群は、新名¹⁹⁾や Merritt ら²⁰⁾等の報告を参考にし、shredder (破碎食者)、grazer (剥ぎ取り者)、collector (収集者)、predator (捕食者) の 4 通りに分別したが、その分別が困難なものについては分類学的に近縁のものと同じの摂食機能とし、それ以外の判別が不可能なものについては others とした。

St.1 は様々な摂食機能を有する水生昆虫が生息しており、特に、他の地点では見られない predator (主にナガレトビケラ科) と shredder (小型のカワゲラ目やハエ目のガガンボ科) の個体数が多く、St.2 は grazer (主にコカゲロウ属) の個体数が多かった。St.3 以降は collector (主にシマトビケラ科) の個体数が多く、摂食機能群から見ても上流から下流にかけて水生昆虫相が変化していた。また、St.5 では落葉等を餌としている shredder (ガガンボ科) が生息していた。これは明らかに中流域に存在する河畔林の影響であると考えられる。

表-6 Chl-a 量 (mg/cm²)

調査地点	10月29日 (22日目)	11月21日 (45日目)	12月16日 (71日目)	平均
St.1	140	34	46	73
St.2	3.7	13	44	20
St.3	48	500	640	396
St.4	100	27	160	180
St.5	330	390	260	330

表-6 に各調査地点における Chl-a 量を示す。各地点での平均値を見ると、St.1 と St.4 では、河畔林が存在しない St.3 と St.5 に比べて日射量が少ないために Chl-a 量は低かった。一方、日射量と天空率が St.3 や St.5 とほぼ等しい条件であった St.2 においても、Chl-a 量は明らかに低かった。これは、水生昆虫による付着藻類の摂食が報告されており²¹⁾、St.2 では他の地点と比べてモルタル板に多数のコカゲロウ属が生息していたことから、St.2 の優占種である grazer 型のコカゲロウ属による藻類の摂食が大きな要因の一つとして考えられる。

図-11 に Shannon の多様性指数 DI (N)¹⁸⁾ の調査 4 回分の平均値を示す。多様性指数は St.1 から St.3 にかけて減少し、St.3 から St.5 にかけて上昇する傾向を示しており、河畔林を有する St.4 で多様性が回復していることが分かる。

図-12 に shredder の個体数と流下有機物量を示す。図中の値は調査 3 回 (10 月 21 日、11 月 21 日、12 月 16 日) の合計を示している。shredder の総個体数は 3.35mm～6.7mm 及び 6.7mm 以上の流下有機物の変化と同様に St.1 から St.4 にかけて減少したが、St.5 では再び増加した。そこで、表-7 に shredder の総個体数と流下有機物量との相関係数を示す。3.35mm～6.7mm の有機物量と shredder の個体数の相関係数は、0.902 と高い値を示しており、shredder の個体数は 3.35mm 以上の流下有機物と関連している可能性が示された。

以上の結果から、河畔林が存在することにより、3.35mm 以上の流下有機物量が増加し、中流域ではあまり生息しないとされる shredder の個体数も増加し、水生昆虫相の多様性の回復にも貢献していると考えられる。

5. まとめ

河畔林が水生昆虫相の多様性に与える影響について中小河川を対象に調査を行った結果、次のような結果が得られた。

1) 宮守川で河畔林を有する地点とその直上・下流点では、河床材料の粒度分布と均等係数がほぼ等しく、

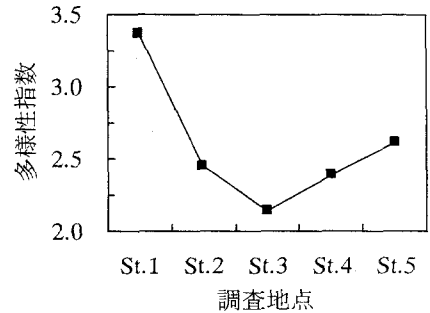


図-11 多様性指数の平均値

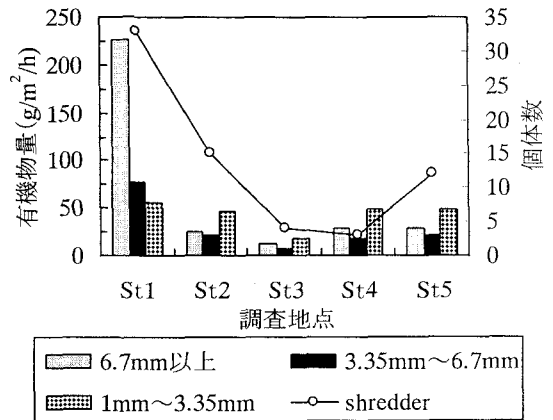


図-12 shredder の個体数と流下有機物量

表-7 shredder の個体数と流下有機物量との相関係数

粒 径	相関係数
1mm～3.35mm	0.379
3.35mm～6.7mm	0.902
6.7mm以上	0.838
1mm以上の総和	0.865

水生昆虫の優占種が類似していた。

- 2) 流下有機物量は上流域に河畔林を有する地点から下流約 6km の地点においては大きく減少した。しかしながら、中流域の河畔林が存在する地点並びにその下流 1km の地点では再度増加する傾向を示した。
- 3) 中流域の河畔林を有する地点並びにその下流 1km の地点では、水生昆虫の個体数並びに種数が増加し、多様性指数も大きくなる傾向が見られた。また、shredder の個体数は粒径 3.35mm 以上の流下有機物量と高い相関を示したことから、下流部における河畔林の存在が落葉を餌とする shredder 等の生息を助長し、水生昆虫相の多様性の回復にも貢献していると考えられる。
- 4) 河畔林は流下有機物の供給源となり、水生昆虫相の多様性にも影響を与える可能性が示唆された。今後は、流下有機物量と水生昆虫相に加えて底質中の粒径別有機物量の変化について支流も含めた年間調査を行い、河畔林と水生昆虫相との関連性を明らかにする必要がある。

本研究の一部は、(財) 河川環境管理財団及び科学研究費補助金基盤研究 (C) の補助を受けた。ここに感謝の意を表します。また、本研究に多大な協力を頂いた大水俊彦氏、並びに岩手大学工学部建設環境工学科水環境制御工学研究室の卒業生諸氏に謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 太田猛彦, 高橋剛一郎 編: 溪流生態砂防学, 東京大学出版会, 1999.
- 2) 砂防学会 編: 水辺域管理—その理論・技術と実践, 古今書院, 2000.
- 3) 崎尾均, 山本福壽 編: 水辺林の生態学, 東京大学出版会, 2002.
- 4) 長坂昌子, 中島美由紀, 柳井清治, 長坂有: 河床の砂礫構成が底生動物の生息環境に及ぼす影響—森林および畑地河川の比較—, 応用生態工学, Vol.3, No.2, pp.243-254, 2000.
- 5) 河内香織: 溪流における生葉の分解過程とシュレッターの定着, 日本生態学会誌, Vol.52, pp.331-342, 2002.
- 6) 布川雅典, 井上幹生: 北海道北部の小河川における河畔植生と底生昆虫群集との対応様式, 陸水学雑誌, Vol.60, pp.385-397, 1999.
- 7) ROBERT C. PETERSEN, JR, KENNETH W. CUMMINS and G. MILTON WARD: Microbial and animal processing of detritus in a woodland stream, Ecological Monographs, Vol.59, No.1, pp.21-39, 1989.
- 8) 津田松苗 編: 水生昆虫学, 北隆館, 1979.
- 9) 川合禎次 編: 日本産水生昆虫検索図説, 東海大学出版会, 1985.
- 10) 柳井清治, 寺沢和彦: 北海道南部沿岸山地流域における伐採が溪流の土砂および有機物の流出に及ぼす影響, 北海道林業試験場報告, No.35, pp.1-10, 1998.
- 11) 戸田祐嗣, 浅野健, 池田駿介, 端戸尚毅: 礫床河川における流下有機物の動態に関する研究, 河川技術論文集, Vol.8, pp.55-60, 2002.
- 12) 建設省河川局 監修: 河川水質試験方法 (案) ~試験方法編~, 技報堂出版, 1997.
- 13) 国分正胤: 土木材料実験, 技報堂出版, 1969.
- 14) 柴谷篤弘, 谷田一三: 日本の水生昆虫—種分化とすみわけをめぐる—, 東海大学出版会, 1989.
- 15) 大串龍一: 水生昆虫の世界, 東海大学出版会, 1981.
- 16) リバーフロント整備センター: 川の生物図鑑, 山海堂, 1996.
- 17) 沼田真, 水野信彦, 御勢久右衛門: 河川の生態学, 築地書館, 1993.
- 18) 小林四郎: 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房, 1995.
- 19) 新名史典: 河川昆虫群集の食物網, 多様性と動態, 海洋と生物, Vol.18, No.6, pp.434-440, 1996.
- 20) R. W. Merritt and K. W. Cummins: *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*, Kendall/Hunt Publishing Company, 1996.
- 21) A. J. ホーン, C. R. ゴールドマン 著, 手塚泰彦 訳: 陸水学, 京都大学学術出版会, 1999.