

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

柳井清治・寺沢和彦

**Sediment yield and transport processes following timber harvesting in a coastal mountain stream, in
Southern Hokkaido, Northern Japan**

Seiji YANAI and Kazuhiko TERAZAWA

Abstract

Influence of timber harvest on the sediment discharge was studied in the 4th order stream draining 1308 ha watershed area in southern Hokkaido, Northern Japan. The sediment was divided into two fractions through fiber glass filter and fine mesh net sampler: fine sediment fraction (<0.4mm, FS) including FPOM (Fine Particulate Organic Matter), and coarse sediment fraction (>0.4mm, CS) including CPOM (Coarse Particulate organic Matter) and MPOM (Medium Particulate Organic Matter). The mean FS and FPOM concentration in the timber harvested stream (11% of tree cutting) was 10 to 20 times higher than that of the unharvested stream. The FS concentration after tree cutting was elevated four times higher than before. The CS, CPOM and MPOM concentration fluctuated between 0.1 and 1 mg · l⁻¹ by temporal discharge conditions and significant difference between the timber harvested site and the unharvested site was not recognized. The CS fraction occupied a small ratio in the total sediment production. The FS production from headwater area didn't seriously affect the downstream water quality under normal discharge conditions. However, remarkable sediment discharge were observed up to the river mouth during large discharge conditions. Sediment was primarily produced from the bare soil surface of logging roads. The FS concentrations in the 1st order stream where the riparian zone was protected were 1/3 to 1/60 lower than in the stream with logging road. These results indicate that the impact of timber harvesting on the water quality would be reduced by improving setting of the logging roads and by protecting forest along stream.

はじめに

近年、河川や海域に生息する魚介類や海藻類に対する森林の影響に関して、水産業界から大きな関心をもたれるようになり、北海道内では各地の漁業協同組合による植林運動が積極的に展開されてきている。森林から生産される有機物は川に生息する水生昆虫類や海に住む生物の栄養源になる (Naiman and Siebert, 1978) とされるが、一方で林業生産や農地開発に伴って多量の土砂が流出し、沿岸域の水産資源に被害を及ぼす場合もある。したがってバランスのとれた森林・土地利用法の確立が急務であるが、これまで森林と海を結びつけた研究はほとんど行われてこなかったのが現状である。

山地流域の森林は、一般的に天然林、針葉樹造林地や伐採地など様々な形態の森林から構成されている。こうした林相を反映して溪流への土砂や有機物の流出量も変化する。たとえば広葉樹林内では毎年多量の落

* 北海道立林業試験場 Hokkaido Forestry Research Institute, Bibai, Hokkaido 079-0198

[北海道林業試験場報告 第35号 平成10年3月, Bulletin of the Hokkaido Forestry Research Institute, No.35, March, 1998]

葉が生産されており，これらが河川に供給され水生生物に利用されるが，森林を伐採することによって落葉の生産量や貯留量に大きな変化が生じる(Hartman and Scrivener,1990)。また伐採地には搬出の際トラクター路が多く作られ，これらが土砂の供給源となって溪流の水質を悪化させることが多く報告されている(Brown and Krggier , 1971 ; Beschta , 1978 ; 北田 , 1986)。しかし森林からの土砂・有機物流出が海域に与える影響に関して，流域全体で調査した例はわが国では極めて少ない(柳井・寺沢 , 1995)。

そこで本報告は，山地流域において森林の取り扱いが溪流への土砂や有機物の流出に与える影響を明らかにするため，小支流で伐採前後で水に含まれる異なる粒径の物質濃度測定を行い，さらに流域全体の土砂・有機物の流出過程を検討した。この結果から，溪流への土砂流出に及ぼす影響を軽減させる森林の取り扱いについて考察を行った。

調査地

調査は北海道南部渡島管内戸井町を流れる原木川流域で行った。この流域は渡島半島の東端，亀田半島に位置し，津軽海峡に注ぐ主流路長6km，集水面積13k m²の小河川で，河口から2kmのところ左股川と呼ばれる支流に分岐する。流域の森林は大部分がブナ(*Fagus crenata*)，ミズナラ(*Quercus mongolica* var. *grosseserrata*)を主体とする天然林であるが，本流の上流部にはトドマツ(*Abies sachalinensis*)人工林が造成されている。また中流の一部は1987年および1991年に強度の伐採が行われた(Fig. 1)。

沿岸域にはマコンブ(*Laminaria japonica*)に代表される水産資源の豊富に生育している。

調査定点として，流域の上流から河口までの定点11カ所を設定した(Fig.1 , Table 1)。

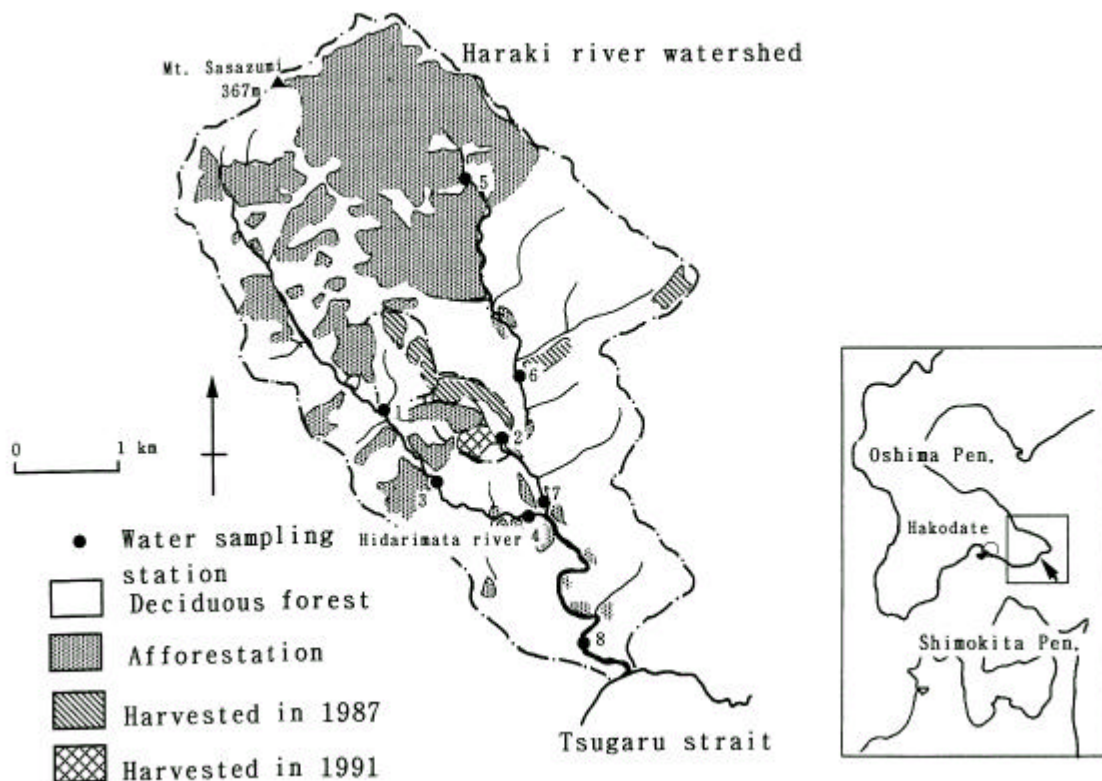


図 - 1 調査定点の位置

Fig. 1. Location of the water sampling stations in Haraki River, southern Hokkaido.

表 - 1 調査定点の概要

Tabl 1. General descriptions of the water sampling stations.

Stream order	Station no.	Catchment area(ha)	Forest and forest practice	Percent of afforestation	Percent of cutting area
1st	1-a	4	Beech forest	0	0
	2-a	3	Clear cutting in 1991	0	47
	2-b	4	Remaining strip on 1991	0	100
2nd	1	32	Partially cut in 1987 (control site)	4	23
	2	25	Partially cut in 1987 and repeated in 1991	18	44 (33% in 1987) (11% in 1991)
3rd (tributary)	3	377	Deciduous forest	25	3
	4	460	dominant	21	3
3rd (main channel)	5	220	Todo fir plantation	81	0
	6	584	Partially cut	42	3
	7	725	Down stream of cutting area	35	4
4th	8	1,308	River mouth	28	3

St.1 と St.2 は流域面積 30ha 前後の 2 次溪流で、尾根を挟んで隣接している。St.1 は St.2 の対照流域で、1987 年に最上流部で一部(23%)が伐採されているが水質に与える影響は少なく、大部分は少なくとも 50 年以上は伐採がおこなわれていない広葉樹天然林である。St. 2 は 1987 年に流域の 33%が伐採されており、さらに 1991 年には採水点付近で 5.5ha の伐採が行われた。この新しい伐採地を伐採方法と搬出路網の違いにより、St.2-a と St.2-b に細分した。St.2-a は流域面積は 3ha、流路長 0.5km、平均斜度 20 度の 1 次谷流域で、かつてはブナの 2 次林であったが、1991 年に皆伐された。搬出路がほぼ等高線に沿って 4 本、 $377\text{m}\cdot\text{ha}^{-1}$ と高密度につけられており、そのうち溪流を横断する場所が 4 ヲ所認められる。一方、St.2-b は同様に広葉樹の 2 次林であったが、溪流に沿って幅 20m、流域面積の 53%が伐採されずに残されたもので、搬出路密度も $154\text{m}\cdot\text{ha}^{-1}$ とやや低い。これとは別に St.1 に隣接した 1 次の天然林流域(St.1-a)において、上記 2 流域の対照区として同時期に渓流水を採取し比較を行った。

St.3 は左股沢の中流に位置する。St.4 はその下流で本流との合流点付近の 3 次溪流の定点で、流域面積がそれぞれ 377ha、460ha である。流域の 70%以上は広葉樹の天然林からなるが、St.3 と 4 間の一部の斜面では 1991 年秋に伐採が行われている。St.5 は本流の上流に設定された 3 次溪流の定点で、流域の 81%はトドマツの人工林によって占められている。St.6 はその下流に位置し、流域面積が 584ha で針葉樹と広葉樹がほぼ同じ割合で分布し、その近くの支流では 1985 年に 20ha の森林が伐採された。St.7 は本流と左股沢との合流点直上の定点で、流域面積が 725ha、そして St.8 は河口より 300m 上流に設定され、流域面積は 1,308ha である。

調査方法

渓流水に含まれる土砂をその粒径に応じて粗粒物質と細粒物質に分け、それぞれ次の方法により採取した (Fig.2)。粗粒物質は、口径 25cm×25cm のサバーネット(メッシュ約 0.4mm)を溪流中に 1 時間程度設置して採取した。この時、ネット内を流れる水の流速と水深を測定し、設置時間中のネットの濾過水量を算出した。ネット内の捕捉物は実験室に持ち帰り、水に浮かばせて比重の差により有機物を選別した。有機物は、1mm メッシュの篩を用いて 2 つのカテゴリーに分類した。1mm 以上の有機物は落ち葉が大部分を占め、それ以下のものは葉が分解された有機物片(デトリタス)からなるが、Cummins(1974)を参考に前者を CPOM

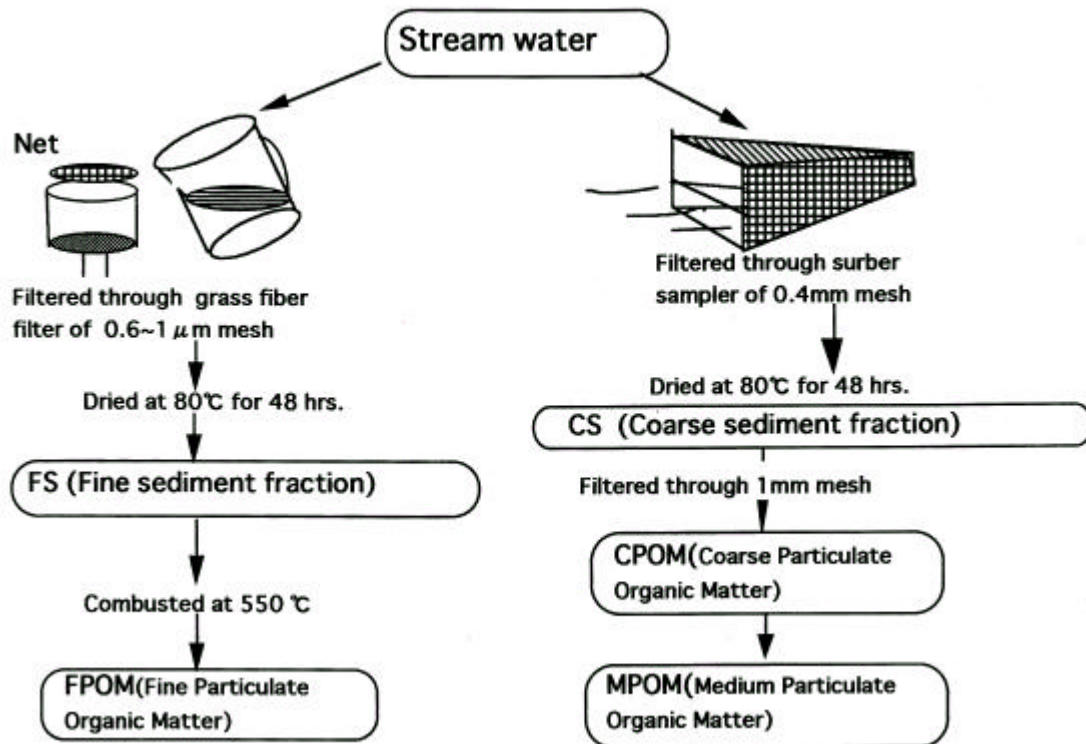


図 - 2 調査方法の流れ

Fig.2. Procedure of steam water analysis.

(Coarse Particulate Organic Matter:>1mm) , 後者を MPOM(Medium Particulate Organic Matter : 0.4mm ~ 1mm)と呼ぶこととする。残りは主として 0.4mm以上の中粒砂や粗粒砂からなるが,乾燥機に入れて 80 で 48 時間乾燥して放冷後,重量を測定した。有機物,非有機物全てを合わせて粗粒物質 (CS: Coarse Sediment)と呼ぶこととする。

細粒物質に関しては, 1%のポリエチレン容器に採取して実験室に持ち帰り,吸引濾過と電気炉による焼却処理を行い,含まれる細粒土砂と有機物量を算出した。用いた濾紙はポアサイズ 0.6 ~ 1 μ m のガラス繊維濾紙である。濾紙は計測前に乾燥器に入れ, 80 で 48 時間乾燥した後,電子天秤で 0.1mg の単位まで重量を測定した。そしてこのフィルターを濾過器に挟んで濾過を行い,その後乾燥器に置いて同様に 80 で 48 時間乾燥した後,重量を計測した。この濾過の際, 0.4 mmメッシュのネットを上被せ,それより大きい粒径のものが混じらないようにした。ここでは 0.4mm 以下の細粒物質を FS (Fine Sediment)と呼ぶこととする。有機物は濾紙をさらに電気炉で 550 で 30 分程度焼却した後,計量しその灼熱損量から算定した。こうして得られた有機物量は CPOM, MPOM との

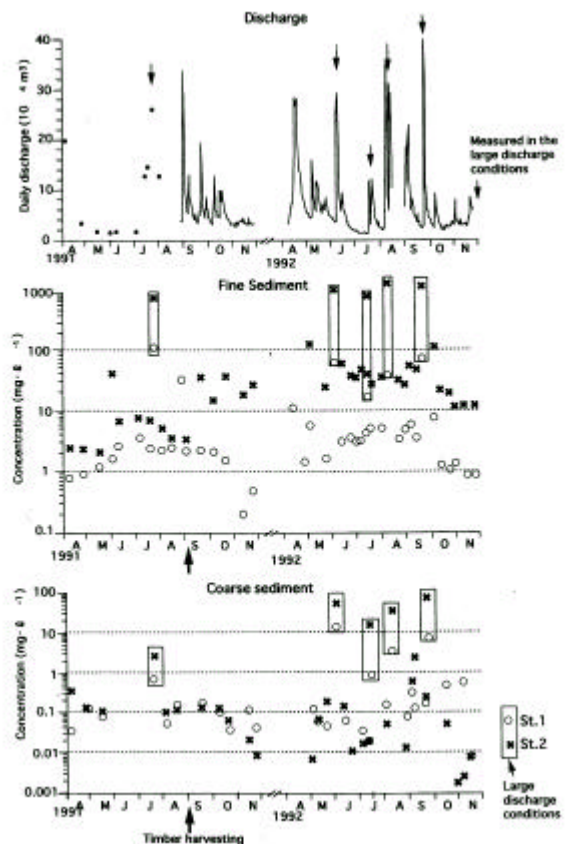


図 - 3 河口における日流量と伐採流域(St.2)および対照流域(St.1)から流出する細粒物質(FS)と粗粒物質(CS)

Fig.3. Fine and coarse suspended sediment concentration produced from the timber harvested and control sites.

関連からここでは FPOM (Fine particulate organic matter: <0.4mm) と定義する。

以上の調査を 1991 年 4 月から 1992 年 11 月までの冬期間を除く 2 年間にわたって、水位の安定した平水時にはほぼ 2 週間おき、出水時にはその都度各地点においておこなった。また河口から 0.5km 上流にある砂防ダムに固定観測点を設け、電圧式水位計により水位の変動を 30 分間隔でデータロガーに記録した。調査期間の日流量の変化を Fig.3 上に示す。1991 年 4 月から 8 月までは連続データが得れず点で示した。2.0 × 10⁵m³・d⁻¹ を越える出水は 1991 年には 3 回程度、1992 年には 6 回観測された。湯水期はいずれの年も 5 月から 7 月にかけての降水量が少ない時期で 2 × 10⁴m³・d⁻¹ 程度まで低下した。これまでの調査から、平水時と降雨による急激な出水時とでは水に含まれる土砂・有機物量に著しい違いがある (柳井・寺沢, 1995)。このため平水時と出水時の測定結果を分けて述べることにする。平水時については約 25 ~ 30 回 (St.3, 5 は 15 回), 出水時はハイドログラフのピーク時のみに採水できた 3 ~ 5 回のデータ (図中棒) の平均値を用い、伐採の影響を検討した。データの処理は正規性の有無を F 検定で行い、さらにその結果に基づき平均値の差の検定を t 検定で行った。

結 果

1. 渓流水中の物質濃度に及ぼす伐採の影響

1) 土砂濃度の変化

平水時に採取された渓流水に含まれる土砂濃度を St.1 と St.2 で比較した (Fig.3)。細粒物質 (FS) に関して 1991 年秋に部分的に伐採が行われた St.2 についてみると、伐採前後で大きな変化が見られた。FS 濃度は伐採が行われる前は 10mg・l⁻¹ 前後 (平均 9.15mg・l⁻¹) に対して、伐採が行われた 9 月以降は急上昇して 30 ~ 50mg・l⁻¹ で推移し、この濃度は 1992 年になってからも継続した (平均 39.16mg・l⁻¹)。伐採前後の濃度差は 4 倍近い有意な差であった (P < 0.01)。対照流域である St.1 では、春から初夏にかけて FS 濃度が増加し、秋になると再び減少するという季節変化が見られ、この傾向は 1992 年も同様であった。平水時の FS 濃度は極めて小さく、春、秋で 0.2 ~ 2mg・l⁻¹、夏期が 3 ~ 10mg・l⁻¹ の範囲である (平均 3.04mg・l⁻¹)。出水時の FS 濃度は、St.2 では 1,000mg・l⁻¹ を越え (平均 1,209mg・l⁻¹)、St.1 でも 30 ~ 100mg・l⁻¹ の高い値が測定され (平均 65.5mg・l⁻¹)、St.1 と St.2 の間には有意な違いが認められた (P < 0.01)。これらの値は平水時の 20 ~ 30 倍に相当する濃度である。

CS に関しては 0.001 ~ 100mg・l⁻¹ の範囲でバラツキが極めて大きく、流量の違いにより濃度が変化した。St.1 は値が低く出水時を除くと、1mg・l⁻¹ 以下であった。St.2 では平水時で 0.1mg・l⁻¹ 前後であったが、9 月以降もほとんど値が変化せず、伐採の影響が現れなかった。St.1 と St.2 の平均濃度を比べると、平水時ではそれぞれ 0.02mg・l⁻¹、0.148mg・l⁻¹ となり St.2 が高いが有意差はない。しかし出水時には St.1 の 1.35mg・l⁻¹ に対して St.2 では 34.1mg・l⁻¹ と 30 倍近い差がみられ

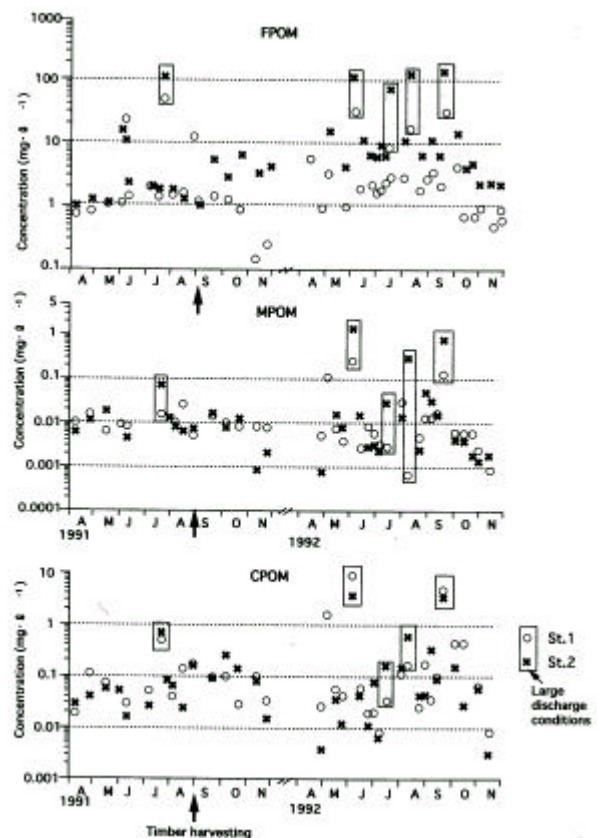


図 - 4 伐採流域および対照流域から生産される有機物 (FPOM , MPOM and CPOM)

Fig. 4. Organic sediment concentration (FPOM, MPOM and CPOM) produced from the timber harvested and control sites.

た ($P < 0.05$)。

2) 有機物の季節変化

流水中の CPOM, MPOM および FPOM について, St.1, St.2 での濃度を Fig. 4 に示した。

FPOM は, 有機物の中では最も濃度が高く, 全有機物の 95~98% を占めていた。平水時には St.2 では伐採以前は $3 \sim 5 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であり (平均 $3.23 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$), 伐採以降はその値は倍増し (平均 $6.65 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$), 伐採前後で有意な差が見られた (平均 < 0.05)。St.1 では FPOM は FS 量に対応して変化し, 春, 秋が $1 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下, 夏期が $1 \sim 5 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と高くなった (平均 $1.72 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)。出水時には St.2 で平均 $119 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, St.1 で $30.7 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ となり, 相対的に伐採流域で高い濃度が認められた。St.1 と St.2 の FPOM 濃度を比較すると, 伐採以前には両地点間には差は見られないが, 伐採以降極めて大きな差が見られるようになった ($P < 0.001$)。

MPOM に関しては全体的に濃度が低く, FPOM の 1/100 程度であった。平水時には St.1 では 1991, 1992 年を通して $0.01 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後であり, 出水時には $0.1 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ の比較的高い濃度が観測された。St.2 では伐採のあった 1991 年秋以降濃度がやや上昇し, 全体的に St.1 を上回る傾向を示した。伐採以降の MPOM の平均値は St.1 が $0.008 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, St.2 で $0.01 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であり, 両者の間にはほとんど差はなかった。

CPOM 濃度は St.1, 2 間には顕著な差は認められなかった。St.1 においては濃度の季節変化が認められ, 春から初夏にかけては流出量が少なく $0.1 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下であったが秋になると $0.1 \sim \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ まで上昇した (1992 年)。これは落葉が始まり河道内に堆積した影響によるものとみられる。St.2 では伐採以前は $0.1 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後であったが, 1992 年には $0.2 \sim 0.3 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ まで上昇した。St.2 の CPOM には, 葉よりは枝や樹皮が多く含まれており, これらは伐採時に溪流中に放出されたものを起源としていた。伐採以降の平均濃度は St.1 が $0.098 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, St.2 が $0.08 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であり, 両者の間には有意差は認められなかった。出水時には平水時の 20 倍程度濃度が上昇し, それぞれ平均で $2.94 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$, $1.68 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ となったが平水時と同様に St.1, 2 間で有意差は認められなかった。

3) 搬出路の設置法の違いによる細粒物質濃度の比較

St.2 で 1991 年秋以降にみられた FS 濃度の上昇は, この年の 9 月に行われた伐採に起因しており, この伐採流域においては搬出路が溪流を横切る際につけられる切り取り法面や斜面の捨て土が土砂供給源となっていることが現地で観察された。そこで St.1-a (非伐採区), St.2-a (溪流内搬出路設置), St.2-b (尾根のみ搬出路設置) の 3 支流で FS 濃度の比較を行った (Table 2)。

表 - 2 搬出道の付け方の違いによる細粒物質 (FS) 濃度の比較

Flow condition	Timber harvested site		Control site
	2 - a	2 - b	1 - a
Normal discharge ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1} \pm \text{S.D.}$)	$257.13 \pm 237.28^{**}$	$9.16 \pm 6.91^*$	3.88 ± 2.46
High discharge ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1} \pm \text{S.D.}$)	$3,296.63 \pm 1,200.99^*$	$52.48 \pm 31.00^*$	11.85 ± 12.47

Significance of difference (t-test) between timber harvested site and control site was shown as * (5%) and ** (1%).

この結果, 平水時の FS は St.2-a で $257 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と高い濃度が測定されたが, St.2-b では $9 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であり両地点には極めて大きな差が見られた。St.2-b は全く伐採しない St.1-a に比べて 2 倍程度の濃度にとどまっていた ($P < 0.05$) が, St.1-a と St.2-a とは 60 倍の違いが見られた ($P < 0.01$)。

出水時の FS 濃度は, St.2-a では $3,297 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と極めて高く, 対照区 (1-a) と明らかな違いが見られた ($P < 0.05$)。St.2-b では $52.5 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と 1-a の 60 分の 1 程度であり, St.1-a に比べて約 5 倍の濃度にとどまっていた ($P < 0.05$)。この結果から, 平水時, 出水時とも St.2-a が最も FS 濃度が高く, それぞれ対照区の 66 倍,

274 倍の濃度であったに対して St.2-b では対照区のそれぞれ 2 倍, 5 倍とその差は小さかった。このことから, 細粒物質の流出は搬出路の配置により大きく異なることが明らかになった。

2. 上流から河口までの土砂および有機物の流出過程

1) 平水時の土砂および有機物濃度

表 - 3 平水時における浮遊土砂・粗粒土砂濃度

Table 3. Fine sediment and coarse sediment concentration under normal discharge conditions.

Stream order	station no.	Total sediment mg · l ⁻¹ ± S.D.		Organic sediment mg · l ⁻¹ ± S.D.		
		CS	FS	CPOM	MPOM	FPOM
2nd	1	0.13 ± 0.14	3.04 ± 2.35	0.09 ± 0.12	0.00 ± 0.01	1.72 ± 1.14
	2	0.19 ± 0.48	31.21 ± 29.55	0.07 ± 0.07	0.01 ± 0.02	5.75 ± 4.45
3rd	3	0.19 ± 0.39	1.41 ± 1.05	0.08 ± 0.16	0.02 ± 0.04	0.88 ± 0.48
	4	0.10 ± 0.10	1.37 ± 1.10	0.10 ± 0.14	0.00 ± 0.01	0.65 ± 0.34
	5	0.07 ± 0.04	2.40 ± 2.19	0.05 ± 0.03	0.01 ± 0.01	0.80 ± 0.47
	6	0.19 ± 0.42	1.84 ± 1.36	0.14 ± 0.35	0.01 ± 0.01	0.88 ± 0.54
	7	0.17 ± 0.17	2.71 ± 2.31	0.11 ± 0.08	0.00 ± 0.01	1.00 ± 0.58
4th	8	0.16 ± 0.24	1.59 ± 1.50	0.07 ± 0.12	0.00 ± 0.01	0.68 ± 0.41

St.1 ~ 8 において 2 年間に観測された平水時の土砂および有機物の平均濃度を, Table 3 に示した。CS については 0.1 ~ 0.2mg · l⁻¹ の低い濃度であった。FS 濃度は, St.2 が 31mg · l⁻¹ と突出しているが, その他の定点では 3mg · l⁻¹ 以下であった。St.6 は 1.84mg · l⁻¹, St.7 は僅かに上昇して 2.7mg · l⁻¹ になるが St.8 では 1.6mg · l⁻¹ となり, 伐採の影響は河口付近には見られない。CS は含まれる割合が全物質量の 5 ~ 10% と低く, 物質流送上あまり重要な位置を占めない。

有機物に関しては, 各サイズとも上流から下流までほとんど濃度が変化しなかった。CPOM に関しては 0.05 ~ 0.14mg · l⁻¹ であり, 定点間に大きな違いがなかった。MPOM は CPOM の 1/10 程度の 0.02mg · l⁻¹ 以下であり, CPOM 同様各定点でほとんど違いがなかった。FPOM は前述のとおり全有機物に占める割合が 80% 以上と極めて高く, かつその濃度は 2 次流域で高く 3 次以下の下流域では 0.8mg · l⁻¹ 前後でほとんど変化しなかった。

2) 出水時の土砂および有機物濃度

表 - 4 出水時における浮遊土砂・粗粒土砂濃度

Table 4. Fine sediment and coarse sediment concentration under large discharge conditions.

Stream order	station no.	Total sediment mg · l ⁻¹ ± S.D.		Organic sediment mg · l ⁻¹ ± S.D.		
		CS	FS	CPOM	MPOM	FPOM
2nd	1	6.15 ± 5.38	65.54 ± 44.92	4.46 ± 3.71	0.14 ± 0.09	30.7 ± 22.27
	2	41.41 ± 19.61	1209.06 ± 232.85	5.29 ± 3.59	2.02 ± 2.23	149.36 ± 35.29
3rd	3	2.21 ± 0.53	48.43 ± 21.39	1.85 ± 0.67	0.17 ± 0.11	17.88 ± 5.74
	4	2.17 ± 1.36	107.43 ± 30.07	1.80 ± 1.16	0.13 ± 0.07	28.62 ± 5.70
	5	————	133.08 ± 44.29	————	————	32.55 ± 16.84
	6	3.62 ± 2.57	131.32 ± 74.96	1.64 ± 0.69	0.16 ± 0.11	29.13 ± 19.09
	7	8.80 ± 0.53	269.98 ± 174.12	2.99 ± 0.66	0.25 ± 0.11	54.83 ± 35.28
4th	8	4.17 ± 1.59	329.88 ± 241.60	2.60 ± 0.33	0.15 ± 0.04	70.48 ± 42.82

次に出水時の各定点の FS, CS 濃度を Table 4 に示した。CS 濃度は平水時の 16 ~ 25 倍であり, FS に比べて差が小さかった。地点別には St.2 が 41mg · l⁻¹ と極めて高かった他, St.7, 8 も 4 ~ 9mg と相対的に高かった。FS は 48 ~ 1209mg · l⁻¹ と平水時の 40 ~ 100 倍の濃度であった。とくに St.2 は突出しており 逆に St.1,

3 は $48 \sim 66 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と最も低かった。本流上流の定点(St.5, 6)での FS 濃度は $130 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後であったが、St.7 では $270 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ まで上昇し、この濃度は河口でさらに $330 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ にまで上昇した。

有機物に関しても、同様に平水時の $10 \sim 100$ 倍オーダーの濃度が観測された。CPOM は上流域で $4 \sim 5 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ でやや高いほかは、St.3~8 まで $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後で推移した。MPOM は St.2 が $2.02 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と最も高い値ではあるが、その他は $0.15 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後で差はなかった。FPOM についても St. と 8 が他の定点に比べて高い値となっていた。その他は $20 \sim 50 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 前後であり、St. 下方の定点が濃度が高い傾向にあり、FS とほぼ同じな傾向を示した。FPOM は出水時においても全有機物の 90%以上を占めており、これが主たる流出形態であることがわかった。

V 考 察

森林の伐採が溪流および海への土砂流出におよぼす影響を明らかにするため、伐採流域および対照流域で渓流水中の物質の濃度を2年間にわたって測定した。この結果、伐採前後で物質濃度に大きな変化が見られた。伐採により顕著に増加したのは FS 濃度で伐採以前に比べて4倍に増加し、また対照流域と比べると FS 濃度は平水時、出水時で13~17倍の違いが見られた。

このような伐採に伴う細粒物質の増加は、表層土壌の攪乱、根系の緊縛力の減少に伴う斜面崩壊の増加さらに林道表面からの浸食などによって引き起こされる(Bechta, 1978)。とくに、伐採時に造成される林道は細粒物質の供給源として重要であることが指摘されている(Brown and Krygier, 1971; Reid and Dunne, 1984)。今回細粒物質の生産源である源流域において、伐採流域を細かく区分(St.2-a, St.2-b)して流出濃度を比較した結果から、溪流内に設定された搬出路の付け方が FS に最も大きな影響を与えることが明らかになった(Table 2)。渓畔を保護した St.2-b は天然林流域に近い値に留まっていたのに対して、搬出路が溪流内にまで造られた St.2-a では St.2-b に比べて30~60倍の高い FS 濃度の水が流出した。St.2-b は土砂生産源である搬出道と溪流の間に10~20mの距離が存在しており、流出土砂はこの間で停止し、落葉層などに吸着されたと考えられる。この事例から渓流水の土砂濃度に及ぼす森林伐採の影響は河川に沿って一定の面積の林を残存させることにより軽減できることが示唆され、同様な事例は Francies and Taylor(1989)、Ahtiainen(1992)らによっても報告されている。伐採道の位置も重要である。わが国においても大型機械(トラクター)によって伐採が行われるようになり、伐採道からの土砂流出が大きな問題となってきている(北田, 1986)が、集材効率のみを重視せず適切な路網密度や配置を考慮することが、水質保全上重要といえよう(Bjorn and Reiser, 1991; Furniss, 1991)。

次に川や海に住む生物の栄養源として重要と見られる有機物に関しては、FPOM が大きな割合を占め、CPOM、MPOM は10%以下の低い割合であった。こうした傾向は北米河川における有機物の流出形態(Naiman and Sedell 1979; Naiman, 1982)とほぼ一致する。森林から生産された落ち葉は、その場で水生昆虫類によって細かく分解され、下流に流出して行くとみられる(Malmqvist et al., 1978; Petersen and Cummins, 1989; Richardson, 1992)。ただし、比重の軽い有機物は出水の初期に流出することが知られており(Fisher and Likens, 1973)、今回調査した方法では出水の初期から連続的にサンプリングしていないという問題がある。したがって完全な流出過程の把握のため、より連続的なデータの集積が必要である。

また FPOM 濃度は伐採流域においては対照流域に比べて3~5倍程度高く、伐採によって FS のみならず FPOM の流出も増加する。伐採により FPOM 濃度が上昇する理由としては、伐採流域には伐採の際捨てられる多量の粗朶や土壌有機物が存在するため、対照流域のように広葉樹林から生産された落ち葉を起源とする場合とは大きく異なる。伐採流域ではこうした一時的な有機物供給量の増加が FPOM 濃度の上昇を引き起こすが、その影響は全物質の中に占める割合から検討すべきである。つまり、伐採流域、対照流域で有機物の含まれる割合を比較すると、伐採流域では20%以下であるのに対して、対照流域では50%前後を

占めている。すなわち、前者が砂・シルトなどの無機成分を多く含む水が流出するに対して、後者は低濃度であるが有機物を多く含む水を生産しているという特徴がある。したがってトータルな物質生産量は伐採地が多いが、無機成分の流出に伴う下流域へのマイナスのインパクトも増大する。このため有機物の増加がプラスになるとは限らず、無機成分を減少させ有機物の濃度を高めるような水質管理法を検討することが重要と考えられる。

流域全体で部分的な森林伐採が下流におよぼす影響に関しては、平水時では1～2次流域の値が大きく、3次以上の定点ではほとんど差が見られなかった。平水時のFS濃度がSt.7で一時上昇しているのは、伐採されたSt.2からの土砂流入の影響と考えられる。しかしFS濃度は河口付近では再び低下しており上流からの土砂流出が直接河口のFS濃度には影響していなかった。出水時にはSt.6,7の間で急激にFS濃度が高くなる原因は、St.2やSt.6下流の伐採域からの多量のFSが供給されたためと考えられた。

このことから平水時には伐採地から流出する高濃度の濁水は、下流ではみられずその影響は局所的であった。しかし出水時には、とくに伐採地より下流から河口までの濃度が高まり、結果的に細粒物質は下流や海域まで流出していることが明らかになった。流域面積からみると伐採面積は小さいが、出水時にはその影響が顕著に下流に現れるため、結果的には伐採の影響は流域全体から生産された渓流水の水質を損なうことになる。同時に前述のとおり、FPOMの重要な生産源でもある1次や2次などの小さい単位の流域については、その取り扱いに特に注意を払わなければならないといえるだろう。

このような土砂は河床に堆積し、そこに生息する生物に様々な影響を与える。具体的な影響として、礫中に入り込み透水性を著しく低下させる(Hartman and Scrivener, 1990)。溪流中の礫はサケ科魚類の産卵床にとっても重要であり、透水性の低下は礫中の卵の生存率に大きく影響する(Bjom and Reiser, 1991; Scrivener and Brownlee, 1992)。また海域での粗粒砂は海藻の胞子の発芽を阻害することが知られている(荒川・松生, 1990)。以上の点から考えて、今後海域を含めた生物の保全を考慮した森林の施業を行って行くことが重要であり、そのためにはこれまで述べてきたように低次の支流域を含めた溪畔帯の管理が重要となる。

摘 要

沿岸漁業が盛んな北海道南部沿岸山地流域(4次溪流, 13k m²)において、森林伐採による土砂流出の影響を明らかにするため、伐採および対照2次流域から生産される細粒物質(FS < 0.4mm)とそれに含まれる細粒有機物(FPOM)、粗粒物質(CS > 0.4mm)とそれに含まれる枝と落葉、デトリタス(CPOM, MPOM)を測定し、河口までの流出過程を調査した。この結果、FS濃度に関しては伐採前は $9\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ であったが伐採後 $39\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ と4倍に増加し、平水時、出水時とも対照流域にくらべて13～17倍の高い濃度が観測された。FPOM濃度も伐採にともなって2倍に増加した。CSと有機物(CPOM, MPOM)は濃度が $0.1\text{mg} \sim 1\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下と極めて低く、対照区と比較して有意な差は認められなかった。次に流域全体で平水時のFS, CS濃度を比較したところ、2次流域に比べて3次以上では定点ごとに大きな違いが見られず、全体的にFSの占める割合が90%以上と大きかった。また出水時には、FS濃度は伐採域下流から河口にかけて著しい上昇が認められ、土砂流出が河口まで及ぶことが明らかになった。伐採流域でのFSの生産源は伐出時に作られる搬出路であり、伐採支流域内で溪流内に搬出路が作られた1次支流と溪畔を保残した1次支流でのFS濃度を比較したところ、搬出路が作られた支流が平水時で30倍、出水時には60倍と著しく高かった。溪畔を保残した支流のFS濃度は天然流域と近く、溪畔林の保護と路網配置の改善により伐採による土砂流出を減少できることが示唆された。

文 献

Ahtiainen M. 1992 The effect of forest cutting and scarification on the water quality of small brooks.

Hydrobiologia 243/244 465-473.

荒川久幸・松生合 1990 褐藻類カジメ・ワカメの遊走子の沈降速度および基質着生に及ぼす海中懸濁粒子

の影響. Nippon Suisan Gakkaishi 56 1741 - 1748.

- Beschta R.L. 1978 Long-term patterns of sediment production following road construction and logging in the Oregon Coast Range. Water Resour. Res. 14 1011 - 1016.
- Bjorn T. C. and D. W. Reiser 1991 Habitat requirements of Salmonids in streams. p.83-139. In W. R. Meehan (ed.) , Influence of forest and range and management on Salmonid fishes and their habitats, American Fisheries Society Special publication 19.
- Brown G.W. and G.W. Krygier 1971 Clear-cut logging and sediment production in the Oregon Coast Range. Water Resour. Res. 7 1189-1198.
- Cummins K.W. 1974 Structure and function of stream ecosystem. Bioscience 24 631-641.
- Fisher S.G. and G. E. Likens. 1973 Energy flow in Bear Brook, New Hampshire an integrative approach to stream ecosystem metabolism. Ecol. Monogr. 43 421-439.
- Francis I. S and J. A Taylor 1989 . The effect of forestry drainage operation on upland sediment yield A study of two peat covered catchment. Earth Surface Process and Landform 14 73-83.
- Furniss M. J. 1991 Road construction and maintenance, p. 297 - 323 In W. R. Meehan (ed.) , Influence of forest and range and management on Salmonid fishes and their habitats, American Fisheries Society Special publication 19
- Hartman G. F. and J. C. Scrivener 1990 Impact of forestry practice on a coastal mountain stream ecosystem, Carnation Creek, British Columbia. p.148, Can. Bull. Aquat. Sci. 223.
- 北田正憲 1986.トラクタ集材作業による林地の地表かく乱. 緑化工技術 12 1 - 10.
- Malmqvist B., L. M. Nilsson and B. S. Svensson 1978 Dynamics of detritus in a small stream in southern Sweden and its influence on the distribution of the bottom animal communities. Oikos 31 3-16.
- Naiman R. J. and J. R. Sibert 1978 Transport of nutrients and carbon from the Nanaimo River to its estuary. Limnol. Oceanogr. 23 60-73.
- Naiman R. J. and J. R. Sedell 1979 .Characterized of particulate organic matter transported by some cascade Mountain stream. J. Fish. Res. Board Can. 36 17-31.
- Naiman R. J. 1982 Characteristics of sediment and organic carbon export from pristine boreal forest watershed. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39 1699-1718.
- Petersen R. J. and K. W. Cummins 1989 Microbial and animal processing of detritus in a woodland stream Eco. Mon. 59 21-39.
- Richardson J. S. 1992 Coarse particulate detritus dynamics in small, montane stream of Southwestern British Columbia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49 337-346.
- Reid L. M. and T. Dunne 1984 Sediment production from forest road surface. Water Resour. Res. 20 1753-1761.
- Scrivener J. C. and M. J. Brownlee 1989 Effect of forest harvesting on spawning gravel and incubation survival of Chum (*Oncorhynchus keta*) and Coho salmon (*O. kisutch*) in Carnation Creek, British Columbia Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46 681-696.
- 柳井清治・寺沢和彦 1995 北海道南部沿岸山地流域における森林が河川および海域に及ぼす影響(I) 山地流域から津軽海峡に流出する浮遊土砂と有機物. 日林誌 77 408-415 .