

◆特集：土木分野におけるリサイクル技術◆

ダム貯水池における流木発生量と木質バイオマスとしての利用実態

高橋正人* 三宅且仁** 牧 孝憲*** 落 修一**** 尾崎正明*****

1. はじめに

従来ダム貯水池に流入する流木は、ダム管理上の障害となるため適宜引き上げられ焼却等により処分されてきた。しかし、見方を変えれば流木は様々な形で利用可能な「資源」である。また、ダムへの流木流入量は全国的にかなりの量に上ると予想され、資源の循環、有効利用の観点からその幅広い活用が期待されている。

平成13年4月の「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」の改正により、従来のような流木の焼却処分が簡単に実施できなくなっている。これをきっかけとして多くのダムでチップ化、炭化、堆肥化などの有効利用が始められている。しかし、流木の発生は自然現象であるため安定的な供給を行うことは難しく、利活用推進のためには安定的な需要と供給のための広域的枠組みづくりが必要となってきている。

このような状況を考慮すると、今後流木の有効利用を推進していくにあたっては、まず最初に

- ① 地域的、全国的な流木発生量の概算値把握
- ② 現在の流木利活用の実態把握

が必要と考えられる。特に①に関し、バイオマスとして炭素を固定している資源は燃焼してエネルギー化してもCO₂排出にカウントされないため、エネルギー政策上も重要と考えられる。しかし、現在のところ上記事項に関しては十分な検討がなされておらず、また、データの蓄積も進んでいないのが現状である。

以上のことから、平成15～17年度の3年間をもって流木に関する調査、検討を実施してきた。ここでは、これまでに明らかとなった全国的な流木の発生量および利用実態の概要を報告する。

2. アンケート調査の実施

流木発生量および流木利用実態の把握を目的として、ダム管理者に対するアンケートを実施した。

アンケート調査対象ダムを表-1に示す。ここ

表-1 アンケート対象ダム数

管理者	ダム数	備考
国土交通省	79	全ダム (H16.6現在)
水資源機構	20	全ダム (H16.6現在)
都道府県	97	
計	196	

直轄および水機構管理ダム				都道府県管理ダム			
NO.	ダム名	NO.	ダム名	NO.	ダム名	NO.	ダム名
1	岩屋内ダム	51	長島ダム	1	小平ダム	51	初瀬ダム
2	大巻ダム	52	九頭竜ダム	2	矢別ダム	52	大野ダム
3	龍ノ子ダム	53	阿蘇川ダム	3	高見ダム	53	引原ダム
4	桂沢ダム	54	天ヶ瀬ダム	4	目屋ダム	54	野野ダム
5	十島ダム	55	猿谷ダム	5	川内ダム	55	生野ダム
6	金山ダム	56	菅沢ダム	6	下瀬ダム	56	二川ダム
7	豊平峡ダム	57	土師ダム	7	滝ダム	57	滝ダム
8	滝川ダム	58	八田原ダム	8	大倉ダム	58	七川ダム
9	滝里ダム	59	弥栄ダム	9	花山ダム	59	佐治川ダム
10	定山荘ダム	60	岩地川ダム	10	藤沢ダム	60	市野ダム
11	二風谷ダム	61	塩井ダム	11	森吉ダム	61	八戸ダム
12	丸内川ダム	62	大塚ダム	12	岩見ダム	62	御前ダム
13	美利河ダム	63	石手川ダム	13	藤瀬ダム	63	高原ダム
14	芦沼ダム	64	中筋川ダム	14	滝原ダム	64	河本ダム
15	滝野石川ダム	65	野村ダム	15	館畑ダム	65	福川ダム
16	石瀬ダム	66	柳瀬ダム	16	高坂ダム	66	榎梨ダム
17	田瀬ダム	67	那賀沢ダム	17	熊川ダム	67	小瀬川ダム
18	湖田ダム	68	巖木ダム	18	飛沢ダム	68	降野川ダム
19	四十四田ダム	69	松原ダム	19	真野ダム	69	木原川ダム
20	御所ダム	70	下笠ダム	20	高津ダム	70	厚東川ダム
21	嶋子ダム	71	緑川ダム	21	小玉ダム	71	野野ダム
22	菅原ダム	72	鏡田ダム	22	日中ダム	72	正木ダム
23	七ヶ宿ダム	73	竜門ダム	23	辰田ダム	73	長橋ダム
24	玉川ダム	74	福地ダム	24	花巻ダム	74	内崎ダム
25	白川ダム	75	新川ダム	25	龜山ダム	75	藤原ダム
26	響野江ダム	76	安波ダム	26	高海ダム	76	熊野川ダム
27	三善ダム	77	昔久川ダム	27	城山ダム	77	山附ダム
28	月山ダム	78	迎野巻ダム	28	川崎川谷水ダム	78	瀬ダム
29	五十里ダム	79	渡部ダム	29	熊石川ダム	79	永瀬ダム
30	川池ダム	80	矢木沢ダム	30	大谷ダム	80	福見ダム
31	川俣ダム	81	下久保ダム	31	磯三面ダム	81	丸丸ダム
32	藤原ダム	82	草木ダム	32	早出川ダム	82	油木ダム
33	相模ダム	83	奈良原ダム	33	大門ダム	83	南郷ダム
34	藤原ダム	84	清山ダム	34	荒川ダム	84	日向神ダム
35	品木ダム	85	岩鹿ダム	35	広瀬ダム	85	熊竹ダム
36	二瀬ダム	86	阿木川ダム	36	有間ダム	86	有田ダム
37	宮ヶ瀬ダム	87	峯川ダム	37	合角ダム	87	菅沼ダム
38	大石ダム	88	高山ダム	38	穂花ダム	88	柿浦ダム
39	大川ダム	89	青蓮寺ダム	39	奥穂花ダム	89	藤瀬ダム
40	大町ダム	90	堂生ダム	40	横川ダム	90	岸川ダム
41	手取川ダム	91	一歳ダム	41	湯川ダム	91	北川ダム
42	三羽川ダム	92	布目ダム	42	上市川第2ダム	92	安岐ダム
43	宇奈月ダム	93	日吉ダム	43	室牧ダム	93	差川ダム
44	美和ダム	94	比奈知ダム	44	原川ダム	94	坂崎ダム
45	小沢ダム	95	早瀬浦ダム	45	親谷ダム	95	日南ダム
46	新豊根ダム	96	池田ダム	46	岩ヶ野ダム	96	市野ダム
47	矢作ダム	97	新宮ダム	47	世生川ダム	97	川辺ダム
48	丸山ダム	98	藤野ダム	48	広野ダム		
49	嶺山ダム	99	寺内ダム	49	高土ダム		
50	茨ダム			50	石田川ダム		

The Amount of Driftwood Flowing into Dam Reservoirs and the Examples to Use it as the Woody Biomass.

で、都道府県管理ダムについては、地域的な偏りを極力なくすことや集水面積の大きさ等を考慮して選定した。アンケートの実施内容を表-2に示す。

回答率は、平成16年度で95%、平成17年度で93%が得られ、良好な結果であった。

3. 流木利用実態の分析

3.1 利活用の実施状況

流木の取り扱い方の集計結果を図-1に示す。流木の「利活用」は全体で40%弱の実施率であり、利活用と処分の「併用」まで含めると60%のダムで既に実施されていることが判明した。

1ダム当たりの流木の発生量を表-3に示す。国土交通省管理および水資源機構管理ダム（以下「直轄・水機構ダム」と記す）年平均流木発生量：483.5m³と、都道府県管理ダム（以下「県ダム」と記す）年平均流木発生量：269.8m³となってお

表-2 アンケート実施項目

質問番号	内容
Q1	ダム・貯水池の諸元
Q2	上流河道について 1. 上流のダムの有無（流木を捕捉する規模） 2. 上流ダムの具体名と管理者
Q3	流木流入量の量的把握実施の有無
Q4	毎年の流木量 1. 流木発生量データ取得期間 2. 年間流入流木量（データ取得期間全て）
Q5	流木量の計測方法
Q6	ダム流域の降雨 1. 近傍気象庁雨量観測所 2. 年間総雨量（流域平均orダム地点）
Q7	流木の取り扱い（処分or利活用or併用）
Q8	処分している場合の実施状況
Q9	利活用の実施開始時期
Q10	利活用の方法
Q11	流木にかかる費用（集積・引き上げ・運搬・処分・利活用）
Q12	どこが費用を負担しているか
Q13	利活用の現状 1. 需要の多い加工品 2. 引き取られる流木の量 3. 加工品の消費者（企業・公共機関等） 4. 消費者（引き取り者）の具体名 5. 加工品の需要と供給のバランス 6. 全流木量に占める利活用される量の割合
Q14	流木の発生プロセスについて（自由回答）
Q15	自由回答 ・流木の発生・流入・収集・引き上げ・運搬・処理に関する事項 ・バイオマス全体に対しての流木に関する事項 ・ダム管理における公的資産・資源管理について

※1 回答の平均値であり、各ダムにおける条件により金額は変動する

り、県ダムは、直轄・水機構ダムの5割強しか流木流入量がないことがわかる。

利活用の実施は、直轄・水機構ダムで実施割合が高く、県ダムにおいて低い結果となった。これには県ダムでは流木量が少なく利用に至らないダムが多いことなどが関連しており、一概に取り組みへの積極性を示すものではないと考えられる。

3.2 利活用の方法

流木の利活用方法の集計結果を図-4に示す。流木利活用方法としては、破碎してチップ化するという方法が約半数のダムで採られている。堆肥、薪材、炭については、ほぼ同じ割合で実施されており、明瞭な差は見られない。

3.3 流木の処理に要する費用^{※1}

図-2に示すとおり、「収集・引き上げ・運搬費用」は「処分費用」とほぼ等しい関係にあり、全国的に見ると流木を陸揚げし処分場に運ぶ過程で、以下のように焼却処分等の費用と同等の費用がかかっていることが判明した。

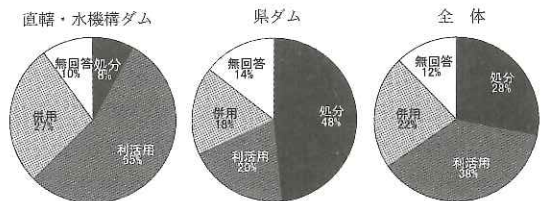


図-1 流木の取り扱い方

表-3 年平均流木発生量と平均引取量の関係 (1ダム当たり)

	①年平均流木発生量 (m ³)	②平均引取量 (m ³)	②/①×100
直轄・水機構管理ダム	483.5	308.3	64%
県管理ダム	281.5	90.2	32%
全体	415.1	240.7	60%

流木収集	: ¥ 5,600/㎡ ³	⇒ ¥22,700/㎡ ³
流木引き上げ	: ¥ 3,500/㎡ ³	
流木運搬	: ¥ 2,800/㎡ ³	
処分	: ¥10,800/㎡ ³	

図-2 流木の処理に要する費用

チップ	: ¥ 7,828/㎡ ³	⇐ 処分費用 ¥10,800/㎡ ³
堆肥	: ¥ 6,200/㎡ ³	
薪材	: ¥ 3,400/㎡ ³	
炭	: ¥ 6,800/㎡ ³	
おが粉	: ¥11,500/㎡ ³	

図-3 利活用のための加工に要する費用

3.4 利活用のための加工に要する費用※1

図-3に示すとおり、おが粉を除く加工品の加工費用は、以下のように処分費用より大幅に安価となっていることが判明した。

従って、流木の有効利用は、コスト縮減に有効であると考えられる。また、「堆肥」「薪」「炭」などのその他の利用方法についても、加工費用に差があるにもかかわらず実施割合に差がなかったことから、流木の需要に応じて加工の方法を選んでいると予想される。

以上のことから、現在のところ利活用の方法は加工にかかるコストではなく、加工品の需要が大きく影響していると考えられる。

3.5 流木の引き取り先

加工した流木の引き取り先の集計結果を図-5に示す。加工された流木は、無償配布等により個人に引き取ってもらうケースが多い。この傾向は特に県ダムにおいて顕著となっている。

これは、直轄・水機構ダムは比較的ダム規模が大きく、それに伴って流木流入量も県ダムよりも大きくなっているために比較的安定かつ多量の供給が可能であり、公共機関や民間事業者の需要に対応できることが理由として考えられる。

これに対して県ダムでは直轄・水機構ダムと比較して施設の規模が小さく流木の発生量が少ないダムが多いために、流木が発生した場合のみ加工を行い地域住民に無償配布するという方法が、供給量の面から適しているためであると考えられる。

以上のことから、流木の提供先は流木発生量に応じて自ずと決まる場合が多いと考えられる。

3.6 流木の発生量と引き取られる量の割合

流木引き取り量に関する集計結果を表-3に示す。全体の結果では、年平均流木発生量が多い直轄・水機構管理ダムで流木引取率が高く、およそ60%あまりの流木が引き取られ利用されていることが判明した。

3.7 加工品の需要と供給のバランス

流木の需要と供給に関する集計結果を図-6に示す。流木の需要と供給については、「需要の方が大きい」もしくは「バランスがとれている」という回答が全体で67%に上り※2、「供給が上回っている」という回答の33%を大きく上回っている。ただし、直轄・水機構ダムと県ダムで結果が

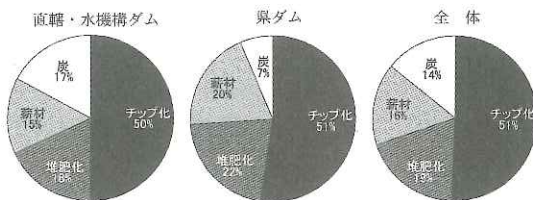


図-4 利活用の方法

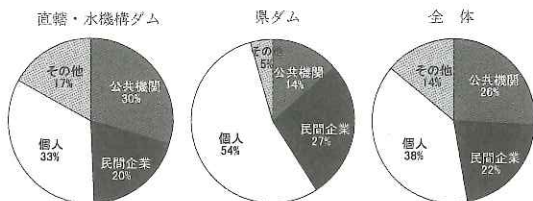


図-5 加工した流木の引き取り先

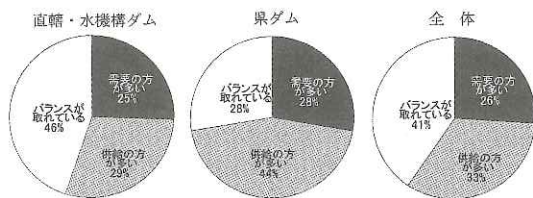


図-6 需要と供給のバランス

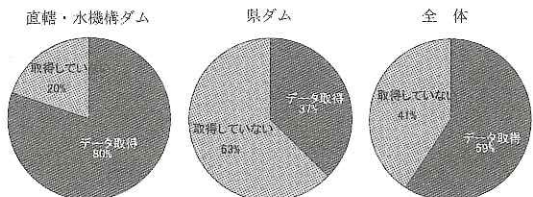


図-7 流木発生量データの有無※3

大きく異なっており、県ダムにおいては半数近くのダム (44%) が「供給の方が大きい」と回答している。

このことは、直轄・水機構ダムは加工した流木の主要な引取先が公共機関や民間事業者であり需要量が大いのにに対し、県ダムは主要な引取先が個人であるため需要量が小さく、たとえ供給量が少なくても供給過多になる可能性が高くなっていることが原因と考えられる。

4. 全国的な流木発生特性の分析

4.1 流木発生量データの取得状況と取得年数

4.1.1 データ取得状況

流木発生量データの有無の集計結果を図-7に示す。流木発生量のデータ取得を実施しているダ

※2 「バランスがとれている」という回答が多くなった要因として、流木の加工が必要に併せて実施された可能性がある。従って、流木全量を加工した場合には、「供給の方が大きい」ダムは増加する可能性がある。

※3 「取得していない」には、流木の発生自体がほとんどない場合も含まれる

ムは、全体の60%程度であることが判明した。

4.1.2 流木計測方法

アンケート調査の結果、流木の計測方法には、特に基準等がないため、ダムごとに違いが見られた。手法を大別すると、以下の4つの方法に分けられる。

- (1) 陸上に積み上げて計測 : 74ダム
- (2) トラックや集塵船による運搬回数×1回当たりの運搬量 : 12ダム
- (3) 処理費用の請求時に計上されてきた数量 : 10ダム
- (4) 計量のための枠等を作成し、そこに入れて計測 : 6ダム

また、流木の体積の取り扱い方としては、実体積または見かけ上の体積が考えられるが、空隙率を考慮しているダムは5ダムであり、殆どのダムが見かけ上の体積を計測して流木量としている。

4.2 流木発生量に関する分析結果

- ① 年間の単位面積当たり流木発生量が大きいダムでも $15\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 程度である。また、発生量が $0.1\sim 2\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ のダムが最も多くなっている。

年間の単位面積当たりの流木発生量の全データを度数分布として並べると、図-8に示すようになり、約9割が $15\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 以下となる。また、グラフを見ると $2\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 以内が比較的多くなっているのがわかる。

- ② 累計流木発生量の大きいダムは、年平均流木発生量も大きい傾向にある。

通常、全データ取得期間の累計流木発生量が大きくなる原因として、単に「データ取得期間が長い」ことが考えられ、累計流木発生量と年流木発生量の相関は余りないと考えられる。

しかし、図-9に示すように全データ取得期間の累計流木発生量と年平均流木発生量は比較的高い相関関係(相関係数0.78)を示しており、累計流木発生量が大きいダムでは、平均的に年流木発生量が大きくなっていると考えることができる。

- ③ 「流域面積の大きさ」と「流木の発生しやすさ」には負の相関がみられる場合が多い。

「単位面積当たりの年平均流木発生量 ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$)」と「流域面積」について、両要素の関係を見るためにデータの散布状況を示したのが図-10である。「流域面積」と「単位面積当たり年平均流木発生量」には、点線で示されるように反比例の関係が認められる。ただし、この傾向

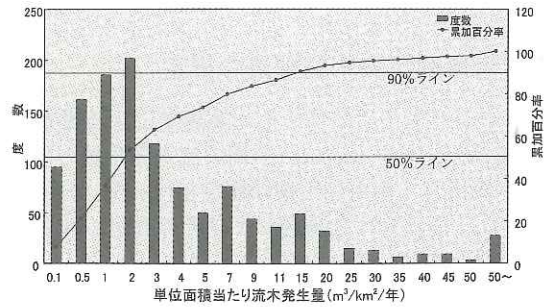


図-8 単位面積当たり年間流木発生量の度数

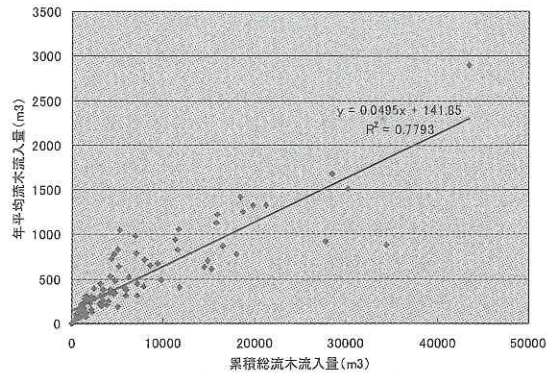


図-9 総流木発生量と年平均流木発生量

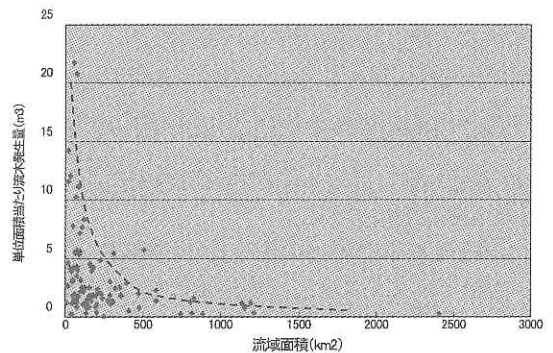


図-10 流域面積と単位面積当たり年平均流木発生量

は流域面積が広い場合(流域面積 $> 300\text{km}^2$ 程度)または単位面積当たりの年平均流木発生量が多い範囲(単位面積当たり年平均流木発生量 $> 5\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ 程度)の場合において顕著である。

- ④ 流木発生量とダム堆砂量には相関が認められる。

年間堆砂量と年間流木流入量の両方が存在する年度のデータを抽出し、各年の年間総堆砂量と年間流木総流入量の関係について求めた結果を図-11に示す。寄与率 R^2 が0.77と高い相関を示すことより、堆砂量は、流木の発生量のある程度表す指標となりうることが伺える。

5. 全体的な流木発生量の推定

5.1 アンケートより得られた実績値による推定

実績データをもとに、年間の流木発生量の平均値を算出し、流木発生量の推定を行った。全国を9ブロックに分けた場合およびその合計の流木発生量算出値は、表-4に示すとおりとなった。

5.2 重回帰分析による推定

全国に分布する個々のダムが置かれた環境は様々であり、流木の発生量も今後の森林管理や治山事業の実施等による流域内の環境変化により変化していくものと思われる。このために、本調査の対象ダム以外のダムをも含めた流木発生量の推定や将来的な流木発生量算出の必要性を考慮し、得られた流木発生の実績値と、考えられる流木の発生要因を設定して重回帰分析を行った。その結果、選択されたパラメータは(1)式に示すように、「流木流入域面積」と「流域平均年間総雨量」の2つであった。しかし、自由度修正済み決定係数(R^2')は0.051と低い数値にとどまり、流木発生量の予測値算出には精度的に不十分と考えられたことから、ここでは方法を述べるに止めた。

$$\begin{aligned} \text{年間流入流木総量} [\text{m}^3/\text{yr}] = & \\ & (\text{流木流入域面積} [\text{km}^2] \times 0.192) + \quad (1) \\ & (\text{流域平均年間総雨量} [\text{mm}/\text{yr}] \times 0.108) + 195.331 \end{aligned}$$

6. 流木利活用の先進的な取り組み例

ダム貯水池における流木利活用の先進的な取り組み例を以下に述べる。

6.1 田子倉ダム等での流木有効利用施設

写真-1に示すように、電源開発(株)田子倉ダム下流において流木炭焼きを実施している。そこでは、流木を炭化した木炭「流木炭」と、炭化の際に発生する煙から採取した「木酢液」を利用した商品の開発を行っている。

また、写真-2に示すように、金山流木再生プラントでは草葉類から堆肥を、流木類からペレット原料やきのこ類の菌床用としておが粉を製造している。

6.2 札内川ダム流木リサイクル

写真-3に札内川ダムの流木処理施設を示す。流木のリサイクルについては、札内川ダム流木処理施設を使用して、社会福祉法人ポロシリ福祉会に委託している。また、作業の一部は福祉会が管轄する“中札内のぞみ園”及び“中札内みのり園”の入居者が協力して行っている。

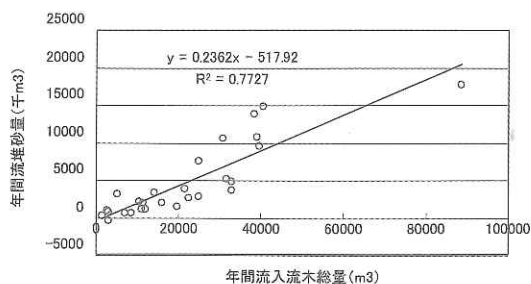
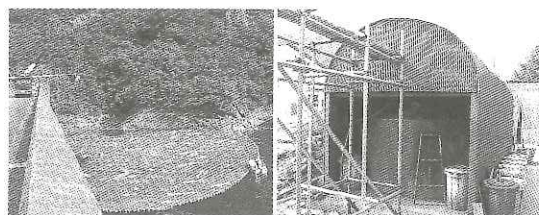


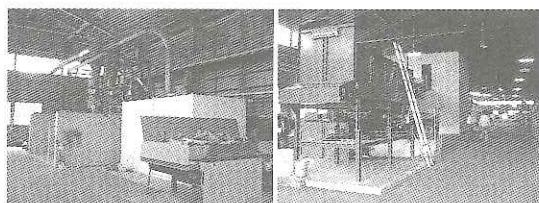
図-11 年間総堆砂量と年間流木総流入量

表-4 実績データからの年間流木発生量算出値

	単位面積当たり ($\text{m}^3/\text{yr}/\text{km}^2$)	流木発生量 ($\text{万 m}^3/\text{yr}$)
北海道	3.33	1.1
東北	2.38	1.5
関東	2.83	0.8
北陸	3.11	0.7
中部	2.27	1.1
近畿	1.18	0.7
中国	1	0.2
四国	2.69	0.9
九州・沖縄	2.93	0.7
アンケート 調査ダム合計	(平均2.31)	7.8



流木集積引き上げ状況 炭焼き窯
写真-1 田子倉ダム下流の例



おが粉製造設備 堆肥製造設備
写真-2 金山流木再生プラント



流木粉碎設備(札内川ダム) 炭焼き窯
写真-3 札内川ダムにおける流木処理施設

7. 今後の課題と展開

今後流木発生量の推定や利活用の実実施計画を検討するに当たっては、次の課題が残されている。

①全国流木発生量（種類、性質含む）および需要量の詳細把握、②利活用の経済分析、③流木発生・供給・需要に関する情報の一元化（「流木インベントリー」の整備）、④流木発生メカニズムの分析と予測手法の開発、⑤流木利活用に関するガイドラインの作成。

これらの課題に対処していくことにより、ダムにおける流木管理の重要性と利活用によるコスト縮減効果が益々クローズアップされていくと考えられる。また、今後の流木の活かし方やダム上流域における森林管理の方策を、全国的に考えていく上での基礎的な検討材料として有用な資料が作成されると思われる。さらに、流木利活用の今後の展開として、図-12に示すように「ダム管理者における地域貢献と地域住民による地域活性化の連携」の仕組みづくりが必要と考えられる。

8. おわりに

これまで全国レベルでは行われていなかったダム貯水池における流木発生量や、流木の利用実態について、全国約200ダムでアンケート調査を実施した。

それにより流木利用に関する実態について、生じている費用の面も含めて解明を進めるとともに、貯水池に流入する流木に関する全国的な総量を推定し、ある程度の概算値を得ることができた。

このように流木のバイオマスエネルギーとしての有効利用に関し、基礎資料収集や実態把握はこれまでよりも大幅に前進したが、流木利活用システムを構築するまでには至っていない。今後流木

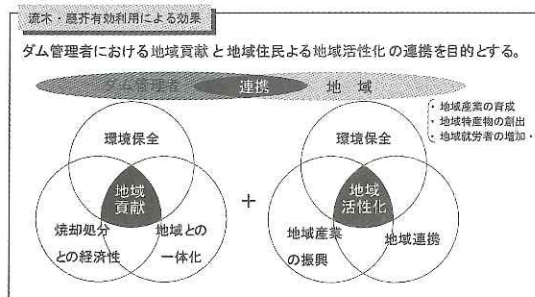


図-12 流木利活用による地域貢献と地域活性化

の活用を進めていく上では、定期的に流木に関するデータを蓄積していくことはもとより、流木利活用を通して地域住民とダム管理者が連携していくためのシステムづくりを推し進めていく必要があると考えられる。

謝 辞

本報告はアンケートにより取得したデータの上に成り立っているものであり、アンケートにご協力頂いたダム管理者や関係機関の方々に多大なる感謝の意を表します。また、本調査には播田一雄氏、小笠原智宏氏ならびに宮崎安弘氏の協力を頂いたことを記して感謝申し上げます。

高橋正人*



財団法人ダム水源環境整備センター調査第一部主任研究員
Masato TAKAHASHI

三宅且仁**



財団法人ダム水源環境整備センター調査第一部長
Katsuhito MIYAKEI

牧 孝憲***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム専門研究員
Takanori MAKI

落 修一****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム総括主任研究員、工博
Dr. Shuichi OCHI

尾崎正明*****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループリサイクルチーム上席研究員
Masaaki OZAKI