

貯水池流入塵芥の堆肥化による再資源化

Regeneration by Making into Compost of Floating Organic-debris in Reservoirs

黒田 重徳*, 目黒 愛次**

Shigenori KURODA*, Aiji MEGURO**

ABSTRACT : A large amount forest debris such as pampas, leaves, grasses and driftwoods flow into dam reservoirs during heavy rain or typhoon. These floating solids should be salvaged from the reservoir because of the management and the conservation of a dam and reservoir. However, it is so costly that these can not be managed enough. Therefore, we are promoting to let them regenerate as a reservoir resource and let it utilize in a way as much as we can in order to not only improve their controls but minimize the managing cost. The carbonized use of driftwoods was established. In the paper, a way of making into compost for floating organic like pampas, a chemical component of the compost, and the test usages of the compost for plants growing will be discussed. Consequently, the compost made from forest debris will be proved to be available. The regeneration by making into compost of floating organic in reservoirs should be recommended.

KEYWORDS : RESERVOIR, FLOATING ORGANIC, COMPOST, REGENERATION

1. はじめに

ダム貯水池には台風、豪雨、融雪時に大量の流木塵芥がどこからともなく流入してくる。これらの浮遊流入物には風倒木や間伐木をはじめ、カヤ、落ち葉、枯れ草、枯れ枝などの植物残さなどがある。流木塵芥の流入量は、各年の高水の出水規模や頻度など水文気象の変動、そして各水系の植生事情によって大きく左右される。このような森林生態系の植生循環によって生産されて毎年絶えることのない流入塵芥物は、取水口スクリーンに目詰まりして取水障害になるほか、一旦、池内に沈澱してしまうと腐敗・底泥化し、悪臭や水質汚濁の原因になるなどして貯水池や周辺地域の環境を損なう恐れがある。このことから、これらの流入塵芥の引き揚げ処理・処分は貯水池管理の重要な業務のひとつとなっている。しかし、流入量が大量な場合、引き揚げから最終処分場までの運搬に費用が嵩むこと、引き揚げても新たに最終処分場が確保できない場合が多いこと、あるいは焼却処分するにも高額な焼却炉設備の建設と焼却に伴う費用が必要となること、などから流木塵芥の処理・処分には大変苦慮しているダムは数多い。

只見川中流部に位置し、集水面積1,237km²を有する滝ダムでは、水文気象によって毎年異なるが、4,400 m³/年の流入塵芥を引き揚げ処理している。処理量の内訳を見ると概ねカヤ、落ち葉、枯れ草等の植物残さが

* 電源開発株式会社 関東支社土木センター, Electric Power Development Company Ltd. (EPDC), Kanto

** 同上 田子倉電力所, Regional Headquarter, Civil Eng. Center

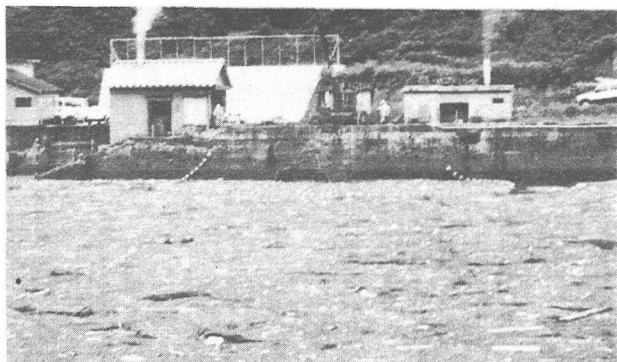


写真-1 ダム貯水池への流入塵芥（滝ダム）

約 2,200m³ (50%) と大半を占め、流木が約 1,400m³ (32%), 一般廃棄物が約800m³と、植物残さと流木で全体の約82%を占めている。本ダム貯水池では、山間にあつて最終処分場となる捨て場もなく、量的にも毎年、写真-1に見られるように大量に流入してくることから、「有効利用が一番の塵芥対策である」として、流木塵芥の再生資源化に取り組んでいる。まず流木対策として、流木の炭化処理による再資源化について研究し、その成果については既に報告した¹⁾。

本文では、量的にも大半を占め、沈澱腐敗すれば貯水池環境への影響も大きい植物残さ（以下、浮遊塵芥という）の堆肥化による再生資源化について論じる。イネ科カヤ（すすき）を主体とした浮遊塵芥の堆肥化処理、生成された堆肥の化学組成、そして生成堆肥を施用した植物、野菜の栽培試験を通して検証された浮遊塵芥堆肥の特性・機能について報告する。

2. 浮遊塵芥の対策処理の現況と課題

浮遊塵芥は量的にも多く出水時、融雪時などの時期に集中して押し寄せてくるため、一般に湖面より集塵船、クレーンなどの重機械を用いて貯水池より随時陸揚げした後、ほとんど池域外に運搬して野積み処分や一部仮置きを図りながら焼却処分している。野積み処分は周辺との景観、美観上の問題や近隣への悪臭被害が懸念されることから、現在では焼却炉設置による全量焼却処分が大勢となっている。しかしながら、浮遊塵芥は水分含有が高く、しかも燃焼材としての発熱量も低いことから自己燃焼しにくく、やむを得ず重油と混焼して焼却処分しているのが実状である。その結果、焼却灰は産業廃棄物扱いとなり、その処分費用も割高となっている。

以上のことから、浮遊塵芥の焼却処分も処理量が多くなってくると、運搬費用の増大、焼却炉設置に伴う建設費用と運転費用の負担増、焼却炉から排出される煙・臭気の周辺環境や周辺景観への影響など、過大な費用負担は事業活動の隘路となるなど当面する課題は数多い。かといって、放置すれば、景観悪化、底泥化、臭気化、富栄養化など新たな貯水池環境への影響も懸念されるところである。したがって、量的にも多く絶えることのない浮遊塵芥の積極的処理と、その処理費用の抑制の面からも、できるだけ再資源化して循環利用を図っていくことが浮遊塵芥対策として極めて重要であると考えている。

3. 浮遊塵芥の堆肥化処理

貯水池から引き揚げられた浮遊塵芥は、陸揚げ後、流木、プラスチック、ビニール、トレイなどの破片や缶、ガラス瓶などの異物を分別除去すれば、カヤを主体した落ち葉、小枝、腐朽木など、森林生態系の植生循環の中で排出されてきた植物残さである。このような浮遊塵芥は種々雑多の有機物であり、それぞれの腐植度合いも異なる。これに対し、農業、園芸用資材である堆肥の原材料は、外部に損傷があろうが、砂泥の付着があろうが、種々雑多であろうが、有害物質を含まない有機物である限り、微生物に腐植・分解されて完熟さえすれば、均質な堆肥になると考えられる。

浮遊塵芥の堆肥化処理の問題は、大量にある有機物の原材料が堆肥化し易いか、しにくいかにある。一般に、魚粉、油かす、鶏糞、牛糞などの動物性残さは分解し易く、わら、木質など植物性残さは分解しにくいことが知られている。有機物の分解し易さを表す指標として、原材料の炭素含有量(C)と窒素含有量(N)の比で表す炭素率(C/N)が用いられている。炭素率が小さいと分解も早くなる。木質は炭素含有率が50%前後、窒素含有率が0.1%前後で炭素率が数百倍と非常に大きい、しかも接着性の強いリグニン成分を含有するため微生物に分解されにくい。ちなみに、完熟堆肥の炭素率について、自然界の微生物の働きは土壌の炭素率10

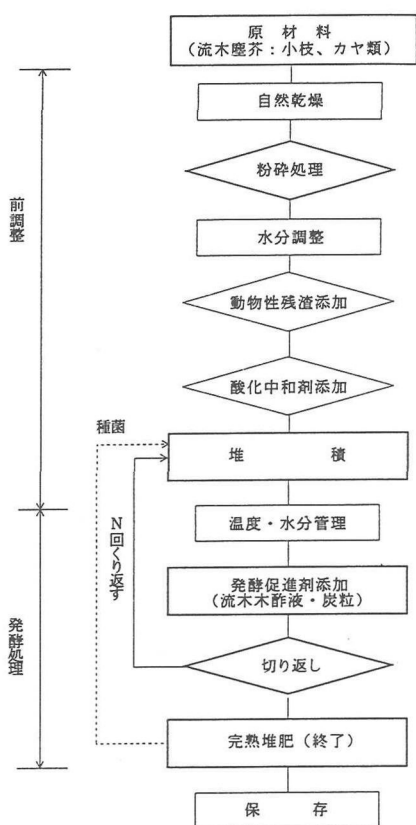


図-1 堆肥化試験の工程フロー



(1) 原材料づくり (左:浮遊塵芥, 右:裁断材料)



(2) 切り返し作業 (64日目)

写真-2 堆肥化試験の状況

前後に近づこうとするとされている²⁾。よって、浮遊塵芥の堆肥化の原材料として、どのように処置すれば堆肥化し易くなり、完熟するまでにどのくらいの期間が必要で、そして生成された堆肥はどのような化学的組成のものであるか、明らかにするため堆肥化試験と生成堆肥の化学分析を行った。

(1) 堆肥化処理の利点

カヤ、落ち葉、小枝、腐朽木など浮遊塵芥を全量堆肥化することで、①微生物により浮遊塵芥が堆肥化できれば、浮遊塵芥の分別処分の必要がなくなる、②堆肥化することで、種々雑多な材料が、均質化された有価材に転換する、③堆肥化すれば悪臭、汚物感が少なくなり、放置しても自然に土に還元される、④原材料に対して容量比で約1/3にまで減容化し、取扱いが容易となる、⑤自然界の微生物の働きを利用するため、新たに投入する資源は少なくて済む、⑥農業にとって不可欠な有機資材であり、地域によっては大量需要が期待できる、⑦堆肥の速成化(量産化)が可能である、などの利点が考えられる。

(2) 堆肥化試験

1) 試験方法

只見川滝ダム直下流右岸に、94年6月中旬、1区画当たり(5.4m幅×4.5m奥行き×2.7m高)で65m³の容量をもった3試験区画を造成した。試験区画として、浮遊塵芥をそのまま試料とするA試験区、裁断機で長さ約3cm以下に細片した塵芥を試料とするB試験区を設けて比較試験を行った。7月20日、A、B試験区画に試料をそれぞれ堆積した。残りもうひとつの1区画は切り返し時の移動再堆積区画として空けて置いた。試験期間は降雪前11月30日までの約4ヵ月とした。この間、堆肥内部の温度測定と水分状態の目視観察を1回/3日の頻度で行った。切り返しはショベルローダーを用いて1回/月の頻度で実施した。浮遊塵芥の堆肥化試験での原材料の前調整から堆肥化(発酵過程)までの工程について図-1に示す。

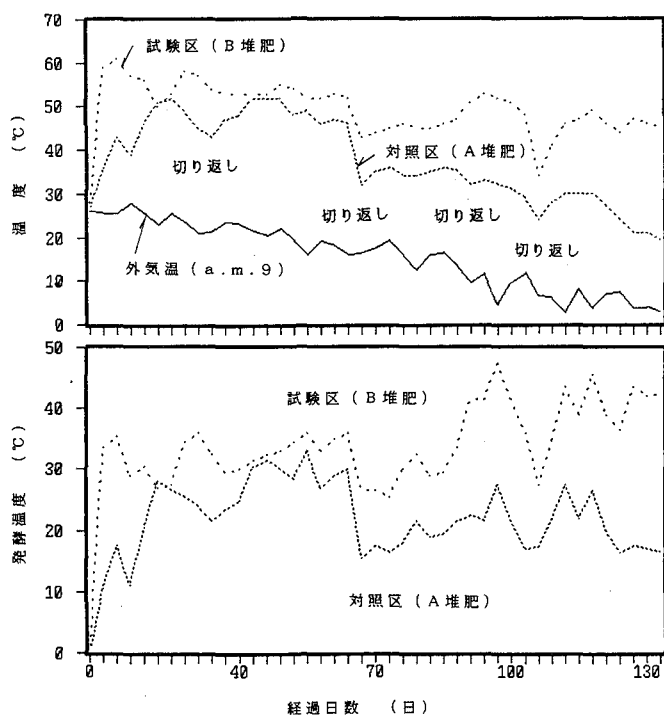


図-2 堆肥化過程の外気温と堆肥内部温度

が死滅してしまわないように中和化する目的で、予め堆積する原材料の中に木灰、石灰などのアルカリ性物質を添加するが、今回、石灰窒素を40kg/区画（重量比約0.2%）添加した。

e. 腐熟促進剤ならびに消臭剤の散布

腐熟促進と腐熟時の悪臭除去のため希釈流木木酢液¹⁾を水分管理と兼ねて散布した。

f. 切り返しと流木木酢液散布

堆肥化過程では、途中、写真-2(2)に示すように、微生物の活動に必要な酸素や水分を補給してやるため堆積材料の切り返しをやる必要がある。同時に、未分解の有機物を切り返しによって微生物の分解作用を受け易くしてやる目的もある。今回、堆積物の腐熟促進、消臭ならびに水分補給として400倍液の希釈流木木酢液を200リットル/区画/回それぞれ散布した。木酢液散布を行った理由について、多様な有機化合物成分を含有する本液の微生物活動への有効性が確認されていること、浸透性があり、散布施用は容易であること、さらに消臭効果が期待できることなどが挙げられる³⁾。

g. 保存・袋詰め

堆肥の有効成分を雨水等で失わないため、屋根掛け、袋詰めにして保存した。

2) 堆肥化試験結果

原材料を堆積した後の堆肥化過程における外気温ならびに発酵状態を表す堆積物内部温度（A、B堆肥）についてそれぞれ図-2に示す。堆積直後、有機物の腐植が始まり発酵温度は急激に上昇した。裁断したB堆肥は13日目で最高61℃まで上昇した。一方、塵芥状態で堆積したA堆肥は22日目で最高51℃まで上昇した。その後は外気温の変化に伴い内部温度も追従するように低下した。堆積物の切り返し作業は、堆積開始の後、8月20日（31日目）、9月22日（64日目）、10月10日（82日目）そして11月3日（106日目）の計4回実施した。堆積物の切り返しの都度、発酵熱の水蒸気煙が立ち上った。切り返しにより一時的に内部温度は落ち込むがすぐまた温度回復していた。内部温度と外気温の差として求めた発酵温度について、B堆肥で

各工程における試験内容および検討項目は以下のものであった。

a. 原材料

原材料はカヤ（約95%）、小枝や落ち葉類（約5%）などの混合物で、写真-2(1)に示すように、そのまま試験材料とするものと、裁断処理したものと2種類用意して、細片処理した材料の発酵促進性について調べた。

b. 水分調整

原材料の水分調整は、浮遊塵芥を陸揚げ後、含水率60～80%の湿潤状態に調整した。

c. 動物性残さの添加

家畜糞、鶏糞、人糞尿などの動物性残さは微生物にとって分解しやすいため、菌類の繁殖を促す目的で添加する場合もあるが、ダム周辺で入手できず添加しなかった。

d. 中和操作

堆積して間もなく有機物の分解により多量のカルボキシル基（-COOH）をもつ有機酸が発生するため堆肥の山は強い酸性を示すようになる。この強酸性化によって微生物

表-1 生成堆肥の化学的組成

項目	試験区画	B 堆肥 裁断試料
pH		7.08
水分 (%)		82.70
石灰 CaO (%)		4.11
苦土 MgO (%)		0.40
カリ K ₂ O (%)		0.16
リン酸 P ₂ O ₅ (%)		0.20
炭素 C (%)		38.80
窒素 N (%)		2.13
全リン P (%)		0.09
マンガン Mn (ppm)		764.89
鉄 Fe (ppm)		10683.60
銅 Cu (ppm)		36.97
亜鉛 Zn (ppm)		210.68
バリウム B (ppm)		22.31
炭素率 (C/N)		18.2

注) 分析値は乾物中当たりで示す

は22.5～47.5℃と変動しながら、平均33.7℃と試験期間中終始高く、試験期間後半でも発酵温度は依然上昇傾向にあった。A堆肥では11～33℃と変動しながら、平均21.7℃とB堆肥に比べて終始低くめで、試験期間後半には発酵温度は次第に下降傾向を示した。このことから、原材料を裁断・粉碎処理すると、腐植発酵の立ち上がり速度を速め、その後の発酵温度を高め、腐熟をより促進・持続させる顕著な効果があることが明らかになった。試験期間終了時には腐熟化に伴う黒色化が進む一方、生成堆肥量は、原材料の容積の約30%の20m³にまで減容化した。水分管理で、1回/月、流木木酢液を散布したことにより、発酵に伴う臭気の抑制効果が認められた。

3) 生成堆肥の化学組成

生成されたB区画堆肥の化学成分分析結果を表-1に示す。B堆肥のpHは中性である。含水率は82.7%と比較的高い。乾物中当たりの化学組成と含有率について、無機成分と肥料成分を内包し、植物に必要な主要元素である炭素C、酸素O、窒素N、リンP、カリK、カルシウムCa、マグネシウムMg、そして鉄Fe、マンガンMn、銅Cu、亜鉛Zn、バリウムBなどの微量元素も多様に含まれている。堆肥の腐熟度を表す炭素率について、試験開始時の原材料の炭素率は60位と推定され、植物遺体の分解過程では炭素率は時間とともに低下し、試験期間4カ月後の炭素率は18にまで低下している。施用可能（炭素率10～20）なまでに腐熟が

進行したことが確認されたが、混在した小枝などには一部未熟状態のものが認められた。

4. 生成堆肥を適用した植物栽培試験

浮遊塵芥から生成されたB堆肥（以下、カヤ堆肥と言う）の、有機堆肥としての、特性・機能を検証するため、市販の有機堆肥との比較栽培試験を実施した。栽培試験は、沖積層土壌（壤土、pH5～6、電気泳動速度EC:0.5ms/cm）の畑地での大根、白菜の野菜栽培と、礫土地盤掘削面での種子吹き付けによる法面緑化試験をそれぞれ行った。

(1) 野菜の栽培試験

試験方法は、カヤ堆肥施用区の試験区と市販堆肥施用区の対照区を設けて、発芽、生育状況の観察ならびに作物の抜き取り調査をそれぞれ実施した。栽培面積は大根40m²/区画、白菜20m²/区画とした。肥培管理は両区画で同条件とした。比較栽培は只見町の篤農家に委託して行った。試験期間は、トラクターで耕した後、平成7年8月26日にそれぞれ種蒔きした日から、収穫した同年11月11日までの期間とした。使用したカヤ堆肥および市販有機堆肥の化学成分と使用量を表-2に示す。

表-2 使用した有機堆肥の化学組成と使用量

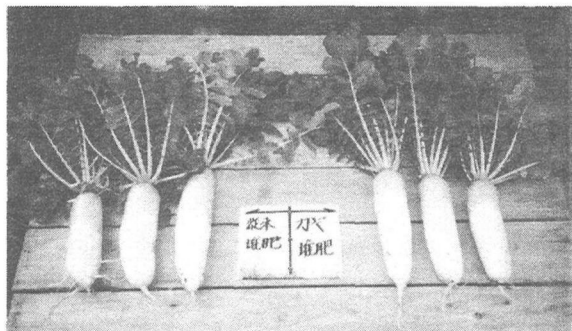
項目 区画	化学組成 (%)					使用量 (kg)	
	窒素	リン酸	カリ	石灰	苦土	大根	白菜
試験区	2.13	0.09	0.18	4.11	0.40	60	30
対照区	0.62	0.76	0.89	1.08	0.32	60	30



(1)生育状況 -11月11日-(左:対照区, 右:試験区)

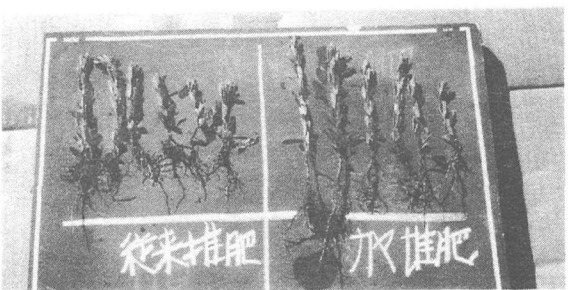


(1)発芽状況 -9月13日-(左:対照区, 右:試験区)



(2)抜き取り調査 (左:対照区, 右:試験区)

写真-3 大根の栽培試験



(2)メドハギの抜き取り調査(左:対照区, 右:試験区)

写真-4 法面緑化試験

1) 大 根

9月10日, 生育状況について調べるため, 試験区と対照区でそれぞれ抜き取り調査を行ったが, 双方ともに順調な生育であった。10月19日, 試験区の葉の緑が濃く目立つようになった。11月11日, 対照区で一部に葉枯れが見られたが, 試験区の葉は青々としていた(写真-3(1))。この原因として, 対照区で肥切れが生じたものと考えられる。収穫時, 抜き取った作物の生育状態を写真-3(2)に示す。双方, 生長度に差は見られないが, 試験区の作物の方が, 対照区に比べて, 葉の緑が濃く, 葉が真っ直ぐ上に伸びて勢いが見られ, 細根, 毛根が多いことが観察された。JA出荷基準の品質ならびに形量区分によると, 試験区は形状色沢も良好で曲がりの程度が2cm未満のAランクの品質のものが多かったのに対して, 対照区はBランクが多かった。1本当たりの重量も1300g以上の形量区分3L, 2Lが全体の65%占めたのに対して, 対照区は40%であった。収穫後, 大根の食味も良好であった。

2) 白 菜

8月26日の種蒔きから, 双方ともに順調な生育であった。10月19日, 試験区の葉の緑が濃く目立つようになり, 姿形も整ってきた。11月11日の収穫時点で, 対照区に比べて, 試験区の葉は色が濃く, 全体的に玉が大きく生育は良好であった。抜き取った作物に生長度の差はなかったが, 試験区の白菜の方に子根が多いことが観察された。JA出荷基準の品質ならびに形量区分によると, 試験区は, 品質, 形状, 球しまりの良好なAランクのものが多かった。1株当たりの重量は, 2.3kg以上の形量区分2L, Lが全体の70%占め, 対照区も試験区もほとんど差はなかった。

(2) 法面の緑化試験

掘削面の法面緑化試験では, 緑化基盤材として, 通常, 使用されている有機堆肥(パーク堆肥)に対して, カヤ堆肥を使用した緑化基盤材の場合, 発芽, 生育状況にどのような影響があるのか明らかにする目的で,

生育比較試験を実施した。試験方法は、カヤ堆肥を吹き付けした試験区と市販堆肥を吹き付けた対照区を設けて行った。試験面積は3m²/区画とした。試験期間は、材料の混合を小型ミキサーにて行った後、平成7年8月8日に人力にて吹き付けした日から、抜き取り調査した同年11月16日までの期間とした。使用した吹き付け材料の配合は次のようである。

吹き付け種子：25g/区画，ケンタッキー31フェスク，クリーンピングレッドF，ヨモギ，メドハギ
肥料：140g/区画，尿素入り高度化成オール15
基盤材：20kg/区画，ジェッドシードD
堆肥：60kg/区画，カヤ堆肥（試験区），市販堆肥（対照区）

8月25日，発芽，生育に双方で差はなかった。9月13日，試験区は，対照区に比べて，発芽が多く，生育も良かった（写真-4(1)）。9月28日，試験区でメドハギの生育が非常に良かった。10月19日，試験区，対照区ともに100%植生被覆されたが，試験区の方が生育が良好で草丈も高かった。11月16日，吹き付け種子であるケンタッキー31フェスクとメドハギの抜き取り調査を行った。吹き付け種子メドハギについて，試験区，対照区での生長度を比べると，写真-4(2)に示されるように，対照区の草丈は最大10.5cm，最小3.5cm，平均7.3cmに対して，試験区の草丈は最大13.5cm，最小4.5cm，平均9.3cmとより高く生長し，茎を支える根も太く長かった。ケンタッキー31フェスクについても，試験区の方が根が長くて多いことが観察された。

5. 結 論

カヤを主体とした浮遊塵芥は，原材料を堆積して，腐植を促進することで約4カ月で堆肥化できた。生成堆肥量は，容量比で，原材料に対して約30%に減容化した。また，原材料を細かく裁断・粉碎することで腐熟を更に促進させることができた。堆肥化促進の添加剤として散布した希釈流木木酢液には，発酵臭の消臭と抑制効果も認められた。生成カヤ堆肥の化学成分について，pHは中性で，植物の生育にとって不可欠な炭素，水素，酸素，窒素，リン，カリ，カルシウム，マグネシウムなどをはじめ，鉄，マンガン，銅，亜鉛，バリウムなど微量元素も幅広く含まれている。量産化についても，粉碎機の大型化とショベルローダー等の重機の活用により，約4カ月での速成堆肥化は可能であった。しかし，原材料に混在するビニールや発泡スチロールの破片などの異物を，量産化に伴いどのように除去していくかの課題は残されている。生成堆肥を適用した栽培試験では，作物障害などの影響は一切認められず，生成カヤ堆肥を施用することで，植物を活性化させ，生長を促進することが確認された。これは，生成堆肥によるバランスのとれた無機成分，肥料成分の養分補給，微生物の土壤活性化，土壤の通気性・透水性・保水性の構造的改善など，有機堆肥としての特性・機能を十分発揮したことによるものと考えられる。

以上のことから，絶えることなく毎年流入してくる浮遊塵芥は堆肥化による再生資源化が十分可能であり，その生成堆肥は生産財として有用な属性を持つと言える。

貯水池流入塵芥の再生資源化は，貯水池の機能・環境をできるだけ延命保全する目的にとどまらず，環境に負荷をかけない有機堆肥はダム貯水池周辺の主要な産業である農業，果樹，園芸業などの必需物資である。よって，浮遊塵芥を再生堆肥化して，安定的に大量供給することは地域社会の産業振興に資する。本研究を通してその期待と可能性は高まったと考えている。結果として，流入塵芥に対する処理・処分費用の軽減や抑制にもつながることから，浮遊塵芥の積極的な再生資源化が勧言される。

参考文献

- 1) 黒田重徳，小山喜久二：ダム貯水池流木の木炭化による再資源化，土木学会論文集，No. 503/II-29，pp. 197-205，1994，11
- 2) 松崎秀敏：土と堆肥と有機物，家の光協会，pp. 29，1992
- 3) 岸本定吉：木酢・炭で減農薬，農村漁村文化協会，1991
- 4) 三井進午：土壤・肥料・植物栄養事典，博友社，1976