

4. 草木廃材の緑化資材としての有効利用技術に関する研究

リサイクルチーム 上席研究員 尾崎 正明
主任研究員 落 修 一
研究員 宮本 綾子
交流研究員 牧 孝 憲

1. はじめに

土木工事を初め、道路や河川、海岸、空港、公園等の緑地管理からは大量の木質材や刈草が発生している。しかし、これらの草木に代表される有機質廃材のリサイクル手法は限られており、資源としての利用拡大に繋がる技術開発が求められている。他方、掘削や盛土などの土木工事にともなう法面保護や緑化、緑地造成のために多くの有機質資材が投入され、中には海外からの天然材に依存しているものもある。

本研究は、大量に発生する草木を法面保護や緑化、緑地造成、保全のための資材化技術を開発するとともに、地域や流域などにおける広域的な資源化・循環システムの構築を目指すものである。

2. 研究方法

本研究では発生する草木を資源と位置付ける。そして、発生量および発生形態をから個々に発生する草木の資源的価値を評価し、資源化利用に繋げるデータベース構築の基礎を得るための調査を行なう。資源化利用に関しては大きく2つに分けた技術開発を行なう。一つは土木工事に伴い発生する伐採木、抜根材の現地における完全利用・還元を図るための技術であり、他の一つは公園や緑地などのように同一地点から定期・定期的発生してくるものの資源化・利用技術である。なお、後者に関しては、既に資源化利用技術・システムが存在し、機能している地域にあつては、その保全を図るとともに、残余草木がある場合の資源化利用技術の開発が対象となる。

3. 研究結果

平成 16 年度は、データベース構築化のための草木材発生量調査をダム流木について行なうとともに、伐採木・抜根材の有効利用を促進するために、爆砕処理を施した木質爆砕物の法面緑化資材化および園芸資材化の方法の確立を目指して法面緑化のための吹付材料の開発とピートモス代替物の開発を行なった。

吹付材料およびピートモス代替物の開発を行なうにあたり、爆砕法という技術を用いた¹⁾。爆砕法とは、木質チップを耐圧容器内で高温、高圧の水蒸気により一定時間蒸煮した後、急激に減圧し放出することにより細胞・繊維質を破壊、解砕する方法で、木材の飼料化などのために開発されたすでに確立された技術である。堅固な繊維状の木質材などは、爆砕処理の強度を調節することによりピートモスと類似した性状の改質物を得ることができるため、伐採木・抜根チップ爆砕物はピートモスの代替となる可能性がある。しかし、本研究により木質チップは爆砕処理を施すことで強酸性化、植物の発芽・生育阻害物質の生成によって植物の発芽・生育を阻害することが分かっている。

3. 1 草木材発生量調査

3. 1. 1 ダム流木発生量調査方法

調査は、財団法人ダム水源地環境整備センターの協力のもと、流木発生実績に関するアンケート調査を実施した。調査は全国の直轄、公団に加え、代表的な補

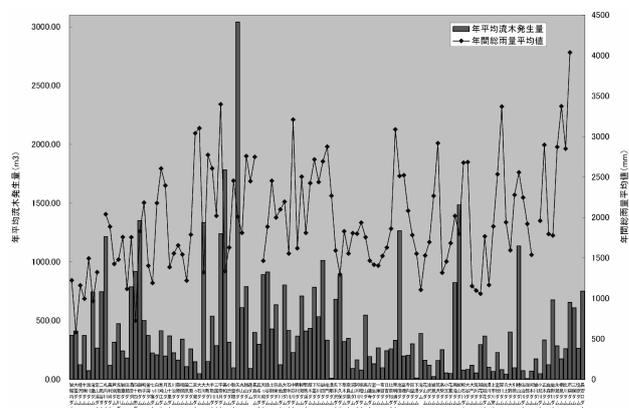


図1 年平均流木発生量と年間総雨量との関係

助ダムを加えた 199 ダムを選定した。アンケートは、郵送によりダム・貯水池の流況諸元、調査開始以降の流木発生量、年間降雨量、流木の取扱い方法、今後の課題・意見などを問う記述方式をとった。また、国土地理院発行のデジタル標高データをもとにダム集水域 GIS データを作成した。

3. 1. 2 ダム流木発生量調査結果

流木量の回答は 186 ダムから得られた。流木発生量と年間降雨量との関係を図 1 に示す。これによると、明確な相関が見られなかったため、個別のダムについて調査した。図 2 に桐見ダムの流木発生量と年間降雨量との関係を示す。このように、発生量と降雨量とに何らかの関係が見られる場合があり、これには大規模降雨の有無が大きく影響していると考えられる。

流木の利活用状況について図 3 に示す。これによると、直轄、水資源機構管理ダムの利活用の取組みが良く、55%に達するのに対し、都道府県管理ダムでは20%ほどにとどまっていた。次に、流木の処理にかかわる費用を図 4 に示す。これらの結果から、全国の年平均流木発生量に対する処分費用は直接工事費で17億円に達すると推定される。流木の廃棄処分の費用を図 5 に示す。これは非常にばらつきが大きいですが、平均すると 10,800 円/m³であった。このばらつきは、立地条件や処分方法の差異によるものだと考えられ、この値は全国の総処分費用を算出するための参考値として考える必要がある。

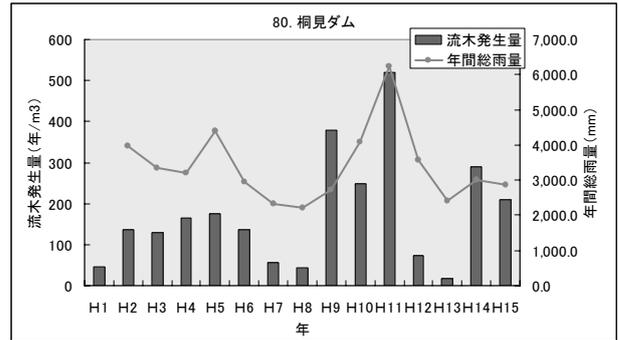


図 2 桐見ダムの年流木発生量と年間総雨量との関係

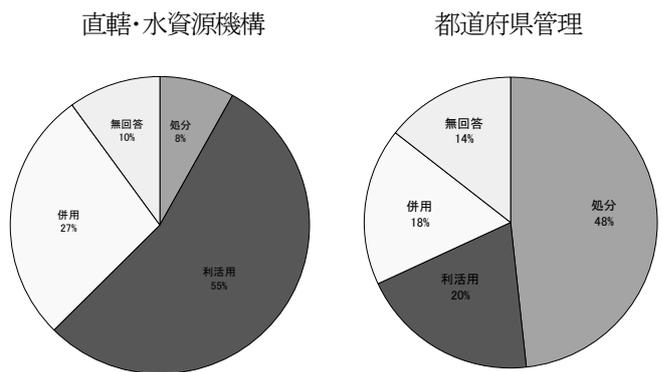


図 3 流木の取扱い方法

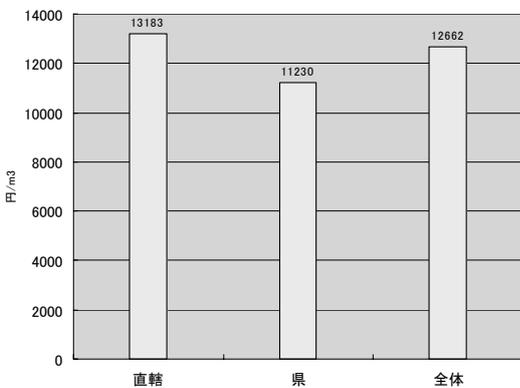


図 4 流木の収集、引上げ、運搬にかかる費用

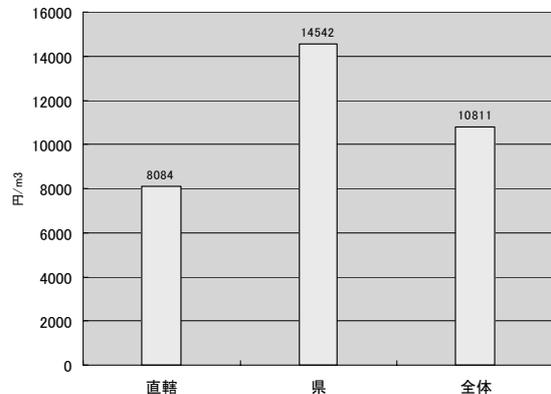


図 5 流木の廃棄処理費用

図 5 の結果から、流木を廃棄処分するのにかかる費用は全国で 3.6 億円にのぼると推定される。このことから、流木の集積等の管理と廃棄処分にかかる費用は 20 億円に達すると考えられる。

流木利活用にかかる費用を形態別に図 6 に示す。利活用する方法として、全体の 40%以上を占める木材チップ化は 8,000 円/m³程度であった。

最後に、得られたデータをもとに全国のダムにおける年間流木発生量を算出した。その結果、年間 34.5 万 m³発生していると推定された。地域別推定発生量を図 7 に示す。北陸地域の値が大きいのは、当該地域のダムは同一流域内で上下流に存在するケースが多く、流域面積を重複カウントしている可能性があり、精査する必要がある。

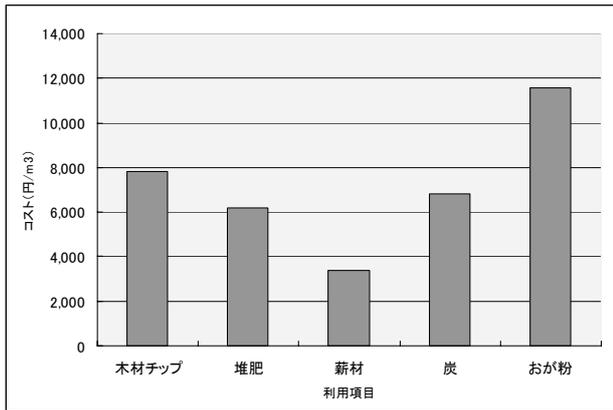


図6 流木利活用にかかる費用

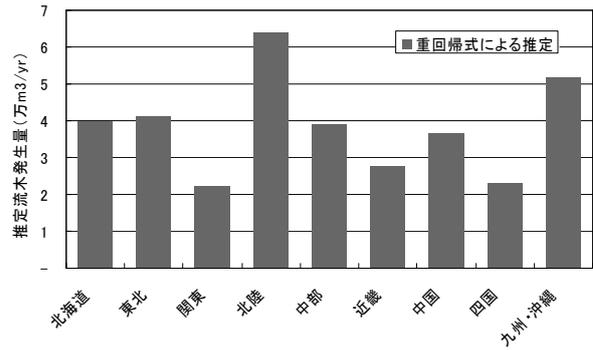


図7 地域別推定年間流木発生量

今後、より精度の高いデータを得るためには以下の項目を検討する必要がある。

- ① 流木の利用（加工）費用および処分費用に関する追加調査
- ② 近接ダムとの連携による効率的な流木の利用可能性
- ③ 地域の需要ポテンシャルマップの作成
- ④ 本アンケート対象外のダムを対象とした流木流入域面積の算出
- ⑤ 国土数値情報を利用したGISによる解析
- ⑥ 流木発生量と詳細な降雨データ、森林施業状況、森林の健全性、ダム堆砂量との関連
- ⑦ 平成16年度の流木流入量データの収集

①～③をより詳細に調査することにより、全国における処理費の詳細を算出することが可能となり、利用方法、利用先を明らかにすることで処理費の縮減、効率的な利用が可能になる。④～⑤により直接流入面積が明らかとなるため、正確な流木発生量が把握できる。⑥～⑦の調査によって、流木発生量と関連があると思われる日降雨量、時間降雨量等の詳細な降雨量、間伐方法、樹種、樹木の健全性、堆砂量を把握することで、流木発生要因を明らかにすることができる。平成16年度は多数の台風が上陸した特異年度だったため、台風による影響を顕著に受けたデータが得られると予想される。

以上の項目を検討することで、より精度の高いデータを得ることができると考えられるため、それをふまえた今後の流木対策に関する提言が可能になると考えられる。

3. 2 吹付資材の開発

3. 2. 1 木本植物の導入

2004年3月に土木研究所内で広葉樹爆砕物を緑化資材として使用した吹付試験を行なった（法面勾配1:1.0、南向き、盛土法面）。試験は表1の配合で行ない、緑化草本植物としてトールフェスクおよびメドハギを使用した。発芽期待本数はそれぞれ1,000本/m²、500本/m²とした。施工後1ヶ月目に木本植物を播種および苗木により導入した。播種による導入は、生育基盤の一部を掘取り、使用する種子をそれぞれ5穴ずつ5粒播き、最後にバーク堆肥によって覆土した。導入植物は、ヤマハギ、コマツナギ、ヌルデ、アキグミ、アカメガシワ、コナラ、ネズミモチ、シャリンバイ、シラカシおよびアラカシの10種を用いた。苗木による導入は、生育基盤の一部を掘取り、使用する木本植物をそれぞれ2本ずつ植栽し、最後にバーク堆肥によって覆土した。導入植物は、アキグミ、ヤマハギおよびアカメガシワの3種を用いた。

表1 吹付緑化試験配合表

| | 広葉樹爆砕物 (L) | バーク堆肥 (L) | 肥料 (L) | 接合剤 (g) | 中和資材 (g) |
|-----|-------------------|-----------|--------|---------|----------|
| 試験区 | 1 | 510 | 1,190 | 170 | 850 |
| | 2 | 510 | 1,190 | 170 | 850 |
| | 3 | 850 | 510 | 170 | 850 |
| | 4 | 1,190 | 510 | 170 | 850 |
| 対照区 | 粉碎木質チップ 1,700L | | 170 | 850 | |
| 標準区 | | 1,700 | 170 | 850 | |

3. 2. 2 植生追跡調査方法

施工後の追跡調査は平成12年 日本岩盤緑化工協会 植生追跡調査法ハンドブック²⁾に基づいて行なった。各試験区に1m×1mのコドラートを設置し、コドラート内の出現本数、草高、被度、被覆率などを調査した。また、周辺からの侵入植物の出現数、苗木の活着状態、生育基盤の状態、土壌硬度などを調査した。

3. 2. 3 植生追跡調査結果

生育基盤の調査の結果、大きな侵食・流亡は確認されなかった。また、土壌硬度は全ての工区で根系伸長範囲内となり、文献3に基づく植物の生育基盤としての機能を有していることが確認できた。

植生調査の結果、標準区(植生基材吹付工区)では、吹付時に導入したトールフェスクおよびメドハギは良好な発芽・生育を示した。しかし、試験区1~4および対照区では、それらの緑化草本植物の発芽・生育は抑制された。ただし、標準区を除く試験区において、施工後3ヶ月以降より周辺環境より侵入・定着したとみられる植物が観察され始め、5ヶ月程度経過した時点では生育している植物の多くがメヒシバ等10種程度の侵入種で占められるようになった(写真1および2)。

苗木により導入した木本植物は、試験区1~4および対照区では順調な生育が観察された(図1)。播種によって導入し、発芽・生育した植物本数を図2に示す(ただし、1種につき3本以上生育したものは3本としてカウントした)。播種による導入でも、同試験区では木本植物の発芽・生育は順調な結果であった。これは、標準区で使用した吹付資材と比較して、試験区1~4および対照区の吹付資材は肥効成分が乏しいため、二見ら⁴⁾の指摘と同様、貧栄養環境を好む木本植物の生育に

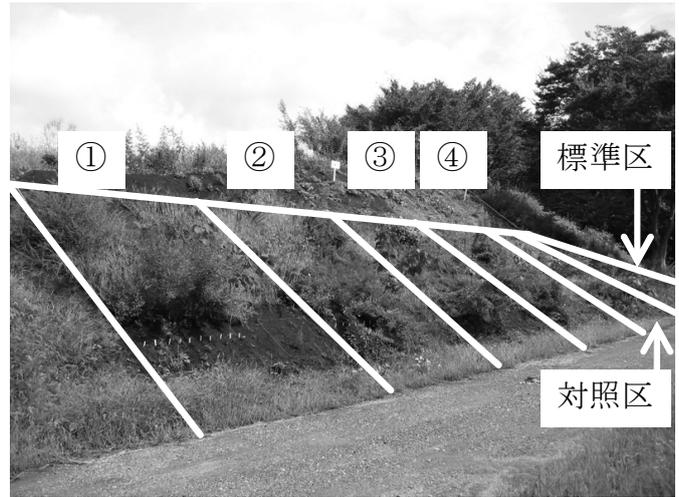


写真1. 施工後5ヶ月目の全景(番号は試験区)



写真2. 施工後5ヶ月目の試験区3の生育状況

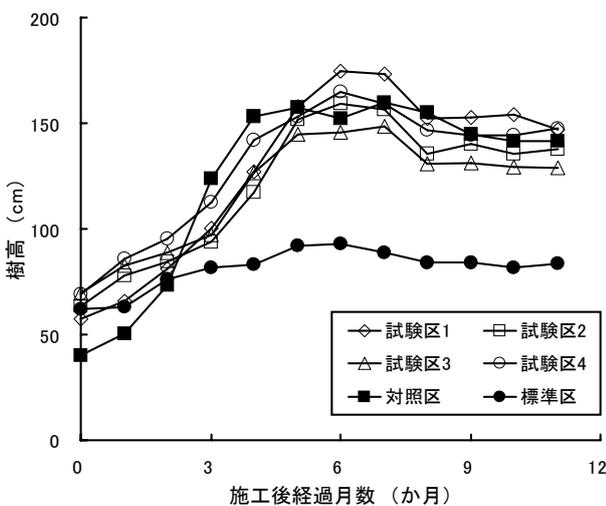


図1. アカメガシワの樹高の経時変化

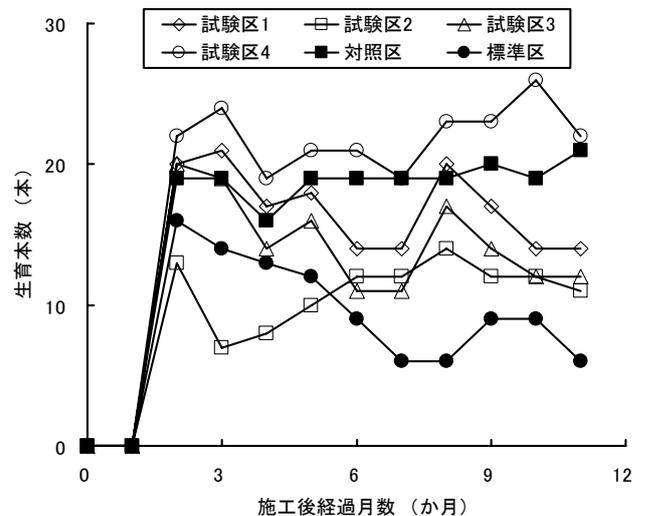


図2. 播種導入によって発芽・生育した木本植物本数

とって有利であったことによると考えられる。また、時間の経過とともに侵入種の生育が観察されたのは、吹付資材（木質爆砕物）中の発芽・生育阻害物質が分解、または降雨により溶脱したためと考えられる。

これまでの結果より、爆砕物を用いた法面緑化は一般的な吹付資材と比較して緑化発現に時間を要するが、侵入種の定着によって周辺環境に調和する植生が期待できることが示された。ただし、法面緑化工は本来の植物群落の植生となるまでに数年を必要とするため、今後長期にわたる継続的な追跡調査による評価が必要である。

3. 3 木質爆砕物の園芸資材化

3. 3. 1 木質爆砕物コンポスト化実験方法

植物に対する木質爆砕物の発芽・生育阻害を回避する目的でコンポスト化実験を行なった。針葉樹および広葉樹の爆砕物（表1）と種コンポストを用い、表2の配合で35℃の恒温室にてコンポスト化実験を行なった。種コンポストは木質爆砕物、活性汚泥およびバーク堆肥を用いて本実験と同様の方法で事前に作製した。木質爆砕物は含水率60-70%に調整した後、電気伝導率に配慮して針葉樹爆砕物:pH 6.0、広葉樹爆砕物:pH 4.5となるように炭酸カルシウムを添加し、種コンポストと十分混合して5L容発酵カラムに充填した。周囲を断熱材で覆い、下部より100mL/分の割合で空気を通気させた。発酵カラム内温度を連続測定し、発酵排ガスの二酸化炭素濃度を毎日測定した。1週間ごとに切返しを実施して、その際に試料を採取した。採取した試料は、理化学性（pH (H₂O)、EC、TN、TC、NH₄⁺、水溶性P、有機酸、フェノール性物質）の測定および発芽・生育試験に供試した。

表1. 木質爆砕物の理化学性

| | | 針葉樹 | 広葉樹 |
|----------|---------------------------------------|-------|-------|
| pH | (H ₂ O) | 3.3 | 3.4 |
| 電気伝導率 | (dS/m) | 0.6 | 0.8 |
| アンモニア態窒素 | (mg/kg) | 9.8 | 7.6 |
| 硝酸態窒素 | (mg/kg) | 0.5 | 0.2 |
| 水溶性リン | (mg/kg) | 19.3 | 18.3 |
| 陽イオン交換容量 | (cmol(+)/kg) | 5.5 | 5.4 |
| リン酸吸収係数 | (g-P ₂ O ₅ /kg) | 33.9 | 38.0 |
| フェノール性物質 | (g/kg) | 10.3 | 16.4 |
| 有機酸 | (mg/kg) | 629.7 | 570.8 |
| 全炭素 | (%) | 49.5 | 46.8 |
| 全窒素 | (%) | 0.3 | 0.2 |
| 炭素率 | | 192.8 | 267.5 |

3. 3. 2 発芽・生育試験方法

実験は、試料の抽出液を使用した試験（試験1）と試料自体を使用した試験（試験2）を行なった。供試植物にコマツナ、トールフェスクおよびメドハギを用いて20℃の恒温室にて行なった。試験1では、試料5gに常温水および熱水のイオン交換水50mLを加えて振とうし、抽出液を作製した。ろ紙2枚を敷いたシャーレに抽出液を7mL加え、供試植物をそれぞれ5粒ずつ播種した。試験2では、試料をシャーレに充填した後に供試植物をそれぞれ3粒ずつ播種し試料を覆土した。それぞれ7日後、10日後に供試植物の生育長を測定し、発芽・生育の評価を行なった。対照区として試験1ではイオン交換水、試験2では砂を用いた試験区を設けた。

表2. 木質爆砕物コンポスト化実験の試験区

| 試験区 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 爆砕物量 (mL) | 5,000 | 4,750 | 4,500 | 4,000 | 3,500 | 5,000 |
| 種コンポスト量 (mL) | 50 | 250 | 500 | 1,000 | 1,500 | 0 |
| 種コンポストの割合 (%) | 1 | 5 | 10 | 20 | 30 | 0 |

3. 3. 3 木質爆砕物コンポスト化実験結果

実験直後より45℃程度まで上昇し、それに伴い二酸化炭素発生量が増加し、またコンポスト化期間が経過するに伴い各水溶性肥効成分が減少した。これは、微生物の分解活動により温度が上昇して二酸化炭素が発生し、水溶性無機態肥効成分が有機化したためと考えられる。これらのことから、木質爆砕物のコンポスト化は順調に進行したものと考えられる。また、有

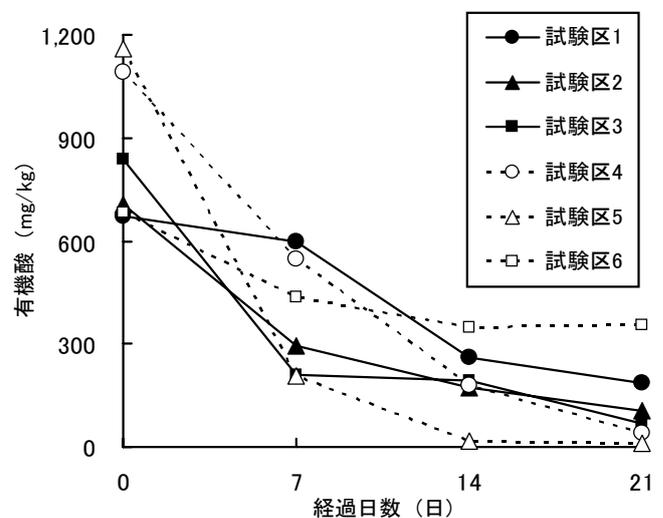


図1. 広葉樹コンポスト化物の有機酸含有量の経時変化

機酸およびフェノール性物質含有量も経時的に減少した(図1)。これも微生物分解によると考えられる。

3. 3. 4 発芽・生育試験結果

試験1では抽出液の種類、コンポスト化期間または種コンポスト量などにかかわらず、試験区間で大きな差異は認められなかった。これは、抽出液中に溶出した発芽・生育阻害物質が少なかったためと考えられる。一方、試験2ではコンポスト化期間が長く、また種コンポスト混合率が増加するほど植物生育が大きくなる傾向を示した(図2)。また、発芽・生育阻害物質と生育長に相関関係があることが示唆された(図3)。

以上の結果から、木質爆砕物はコンポスト化過程を経ることで有機酸およびフェノール性物質などの発芽・生育阻害物質が減少し、それに伴い植物生育は改善される傾向が示された。このことから、木質爆砕物はコンポスト化することでピートモスの代替物となる可能性が高いことが分かった。

4. まとめ

全国のダムからの流木発生量を把握するためのアンケート調査、木質爆砕物の法面緑化資材への適用試験、木質爆砕物を園芸資材として利用するためにコンポスト化実験を実施し、以下の結果を得た。

- (1) 流木発生量、利用形態、処理費用などの概要が分かった。
- (2) 吹付時に導入した草本植物による緑化は達成できなかったが、導入方法によらず木本植物の生育は良好で、対照区(生チップ区)と同等であり、周辺環境に調和する植生が期待できることが示された。
- (3) 有機酸およびフェノール性物質などの発芽・生育阻害物質が減少して、それに伴い植物生育は改善される傾向を示したため、ピートモスの代替物となる可能性が高いことが分かった。

謝辞

本研究を行なうにあたり、財団法人ダム水源地環境整備センター、東興建設株式会社、日本植生株式会社の皆様、井上義康 実務訓練生にご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 棚橋光彦：爆砕法による森林バイオマスの変換と総合利用，木材研究・資料，18，pp.34-65，1983年
- 2) 日本岩盤緑化工協会：植生追跡調査法ハンドブック、2000年
- 3) 日本法面緑化技術協会：有機質系厚層基材吹付工 技術資料、2003年
- 4) 二見肇彦ら：未分解チップを有効利用した生育基盤材による自然回復手法について、日本緑化工学会誌、29(1)、pp.185-188、2003年

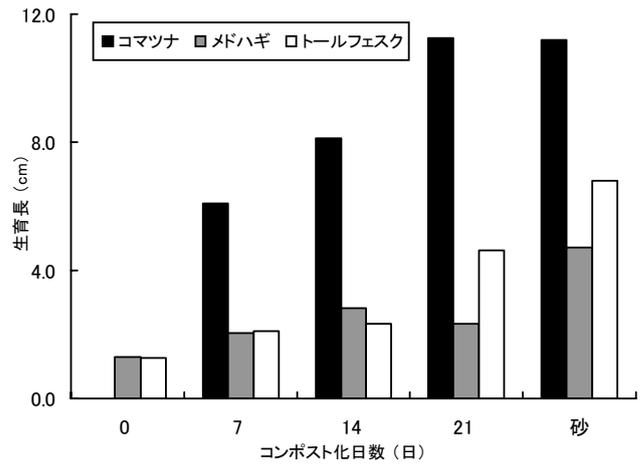


図2. 種コンポスト20%混合(広葉樹)における生育長

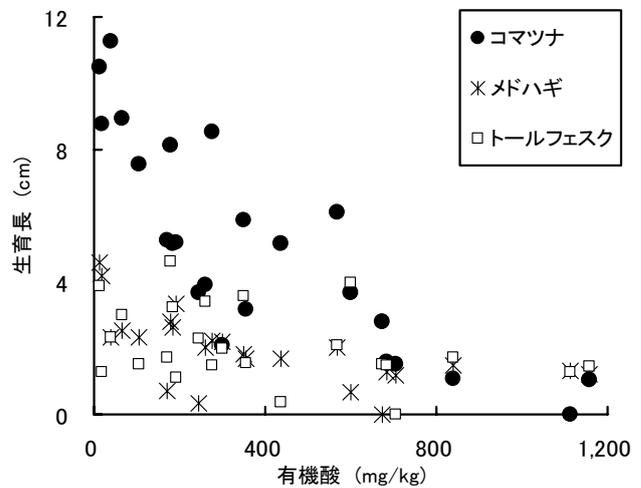


図3. 有機酸と生育長との相関関係