

海岸林整備に伴う廃棄物の有効利用 (I)

—松葉による屋上緑化に関する研究—

田中 明¹・真鍋 将一²

Effective utilization of waste with the improvement of coastal forest (I)

—The rooftop gardening using Pine Needles—

Akira Tanaka¹ and Shouichi Manabe²

Abstract : In the Nijinomatsubara coastal pine forest of the Karatsu City, Saga Prefecture, the activity which reproduce the ancient beautiful scene began. For this purpose, the broad-leaved trees are being felled and the humus layer is being removed. In this study, we tried to use pine needles as the soil for the rooftop gardening. Six kinds of soil, the "Carbonized pine needles", the "Crushed pine needles", the "Crushed carbonized pine needles", the "Charcoal", the "Masa sandy soil", and the "Crude Pine Needles" were used for the comparison. The available moisture for the plant of "Crushed Pine Needles" is the highest, and it is in the order of the following Crushed carbonized pine needles, the Charcoal, the Carbonized pine needles, the Masa sandy soil and the Crude pine needles".

From the evapotranspiration experiments of grass, the Crude Pine Needles pot withered the earliest, and in order of the Masa sandy soil, the Carbonized pine needles, the Crushed carbonized pine needles, the Charcoal and the Crushed pine needles pots. The results of numerical simulation of the phenomenon agreed almost with the experimental results. We concluded that the Crushed pine needles and the Crushed carbonized pine needles can be used as the soil for the rooftop gardening.

1 はじめに

特別名勝に指定されている佐賀県唐津市の虹の松原では昔の白砂青松の風景を取り戻す活動が進行している(九州森林管理局佐賀森林管理署, 2007; 虹の松原保護対策協議会, 2008). またクロマツ林の健全さを示す生物指標としての「松露」を育成する試みも行われている(田中, 北村, 2000).

この目的のためには広葉樹を伐採し, 堆積松葉, コケ, 草から成る腐植層の処理が必要となる.

堆積松葉は 50 年ほど昔には家庭用の燃料として利用するために頻りに松葉かきが行われていた. しかし, 電気・ガスが普及し, 松葉は林内に放置されるようになった. 現在, 虹の松原のほとんどの堆積松葉は葉タバコ農家によって, 温床としてまた堆肥として利用されているが, 葉タバコの生産量は減少傾向にあり, 今後は他の用途についても検討することが急務となっている.

また松原内でもっとも多く見られるハイゴケは湿

潤条件のみならず乾燥条件下でも生育する. 特に乾燥に強い性質を利用して屋上緑化に使用されることもある.

本研究の目的は虹の松原に堆積した松葉を屋上緑化の土壌代替材(以下土壌と称する)として有効利用することである. 緑化土壌は特に, 保水性と軽量性を必要とするので, 松葉を用いた土壌の物理特性や保水性の測定, 芝生を用いた蒸発散実験及び土壌水分動態に関する数値シミュレーションを行った.

2 実験方法

2.1 材料及び水分特性

実験に使用した土壌は以下の通りである.

- (1) 松葉炭: 松葉を灯油缶に詰め, 周囲を熱して炭化し, 2~3 cm の長さに砕いたもの,
- (2) 粉碎松葉: 松葉をガーデンシュレッダーで粉碎したもの,
- (3) 粉碎松葉炭: 松葉炭に水を加えて料理用ミキサーで粉碎し, 粉末状にして乾燥させたもの,
- (4) 木炭: 市販されている土壌改良用の針葉樹の木炭,
- (5) マサ土: やや砂分が多いマサ土,
- (6) 松葉: 松葉かきによって収集した無加工の松葉. ここでマサ土及び木炭は比較対象として使用したもので, これ以外の土壌はすべて松葉を使用している.

これらの土壌を写真 1 に示す. また水頭型吸引法及び遠心法によって求めた土壌水分特性曲線を図 1 に示す.

¹ 佐賀大学海浜台地生物環境研究センター Coastal Bioenvironment Center, Saga University, 152-1 Shounan-cho, Karatsu, Saga 847-0021, Japan

² 国土交通省河川局治水課 River Improvement and Management Division, River Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, 2-1-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8918, Japan



写真1 実験に使用した土壌

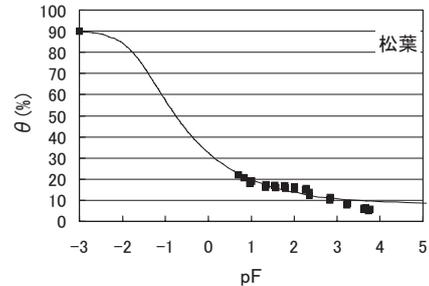
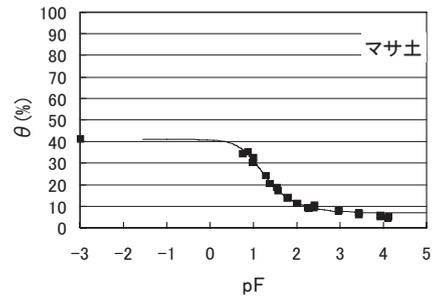
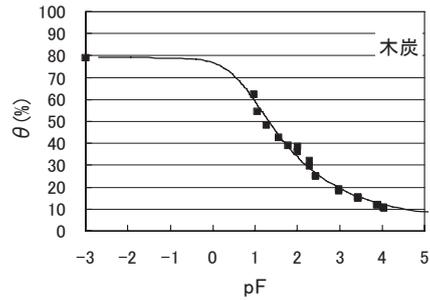
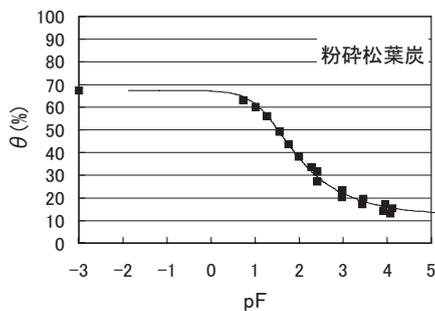
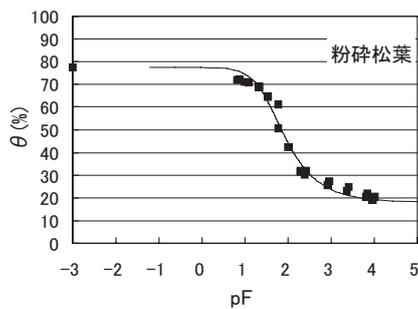
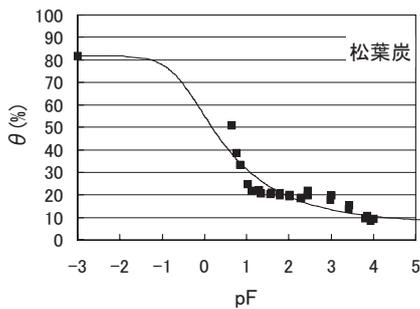


図1 水分特性曲線（水分量 (%) と p F の関係)
実線は Van Genuchten モデルによる経験曲線



各土壌の乾燥密度,飽和水分量及び飽和透水係数を表1に示す.

表1 土壌の物理特性

土壌名	乾燥密度 (gram/cc)	飽和水分量 (cc/cc)	飽和透水係数 (cm/sec)
松葉炭	0.11	0.82	1.66
粉碎松葉	0.29	0.77	4.51×10^{-3}
粉碎松葉炭	0.35	0.67	1.37×10^{-2}
木炭	0.23	0.79	7.93×10^{-2}
マサ土	1.57	0.41	4.14×10^{-2}
松葉	0.06	0.9	1.89

植物が利用出来る有効水分の定義は様々なものがあり,例えば畑地灌漑計画法において上限は圃場容水量または24時間容水量(pF1.5~2.0)とされている(農林水産省構造改善局,1983).しかしこれは土壌層が厚い畑地において用いられるもので,屋上緑化のように土壌層が薄い場合の有効水分の上限のpF値はもっと小さい.

土壌層に十分な給水が行われた後,下端からの排

水が停止した状態では、土壌層の各位置の土壌水の負圧は、下端からの高さに等しい。水分特性曲線からその負圧に相当する土壌水分量が求められるので、土壌中の土壌水分分布が得られる。得られた水分量分布曲線を積分することによって土壌層の全水分量が求められ、これが有効水分の上限となる。

ここでは土壌層の厚さが未定であるので、上限は pF1.8 とした。一方、下限については作物が正常に生育する限界点である生長阻害水分点 (pF3.0) , 初期シオレ点 (pF3.5) , 永久シオレ点 (pF4.2) のいずれを選ぶかによって、有効水分量は異なる。

表 2 には 3 つのケースについて求めた有効水分量を比較した。いずれの場合も、粉碎松葉が最も大きく、ついで粉碎松葉炭、木炭、松葉炭、マサ土、松葉の順であった。

表 2 土壌の有効水分 (単位%)

有効水分	松葉炭	粉碎松葉	粉碎松葉炭	木炭	マサ土	松葉
pF1.8~pF3.0	7.7	28.2	20.6	18.5	6.2	3.8
pF1.8~pF3.5	9.3	31.3	24.3	22.8	6.6	4.7
pF1.8~pF4.2	10.8	33	27.2	26.7	6.8	5.4

2.2 蒸発散実験

土壌を底部が網目のプラスチック容器に 7cm の厚さに詰めてその上に芝生 (コウライシバ) を置き、根がある程度活着するまでガラスハウス内で 2~3 週間養生した。灌水は適宜行い、液肥を一度だけ使用した。2004 年 10 月 15 日に芝生を土壌ごと切り取り、蒸発散量測定用のポット (プラスチック製、外寸 354×242×120(mm), 内寸 310×207×115(mm)) に移し替えた。この際、全ての芝生を 1~2cm の高さに刈り揃えた。水面蒸発量を測定するため水を張ったプラスチック容器 (内寸 310×235×110mm) を蒸発計として使用し、得られた値を蒸発散能とした。

実験期間は 2004 年 10 月 15 日から 2005 年 1 月 13 日までの冬期で毎日各ポットの重量を測定した。実験開始前に十分な灌水を行い以降は無灌水とした。

2.3 実験結果及び考察

前日の重量との差によって蒸発散量を求め、これを水面蒸発量で割って蒸発散比とした。

土壌水分が十分あるときの土壌面蒸発量と蒸散量の合計は蒸発散能である。この量と水面蒸発量とは異なるが、本研究では土壌水分が減少するに従って蒸発散量が低下する現象を調べるのが目的であるので気象要因の影響を除くために蒸発散比の変化を調べた。図 2 に蒸発散比の経日変化を示した。蒸発散比がマイナスとなっている日があるのは、土壌による吸湿やガラスハウス天井からの水滴の落下などの影響が考えられる。

土壌が水を十分に含んでいる間は、蒸発散比は約 0.6~1.0 の間で推移しているが、土壌水分が減少すると蒸発散比が下がり芝生が枯れ始める。蒸発散比約 0.4 までは見た目ではわからないが、それ以下になると枯れ始めていることが確認でき、約 0.3 でほぼ完全に枯れた。

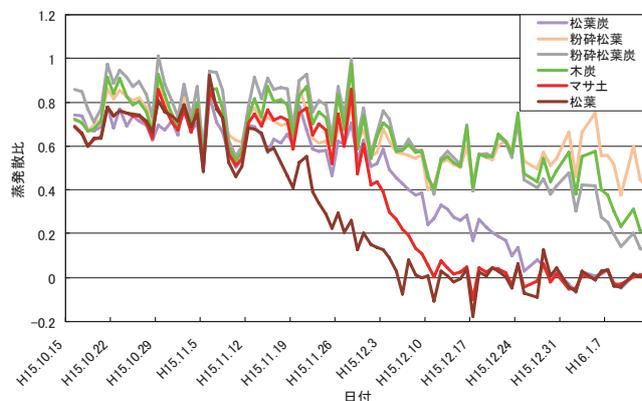


図 2 蒸発散比の経日変化

まず松葉の場合が最初に枯れ (11 月下旬), ついでマサ土 (12 月上旬), 松葉炭 (12 月中旬), 粉碎松葉炭 (1 月上旬), 木炭 (1 月上旬) と続いた。粉碎松葉は 1 月中旬まで枯れなかった。

屋上緑化では植物の蒸発散作用により温度を低下させる効果を利用するので、蒸発散量の維持は特に重要である。粉碎松葉、粉碎松葉炭、木炭は同じような蒸発散比を示しているが、土壌が水を十分に含み供給できている間は粉碎松葉炭 > 木炭 > 粉碎松葉の順に蒸発散量が多かった。

しかし、十分に供給できなくなると逆に粉碎松葉 > 木炭 > 粉碎松葉炭の順になった。この傾向から、粉碎松葉炭を緑化土壌として使用すれば、水に余裕があるときは高い蒸発散を得て周囲の温度を下げ、水源の余裕がない時は低い蒸発散で節水することができることになる。

松葉はマサ土より保水性が不良で緑化土壌としての機能を果たすことはできない。松葉炭はマサ土より保水性があり、軽量性もある。粉碎松葉、粉碎松葉炭、木炭は先の 3 種類より格段に保水性が良く、軽量性も兼ね備えているため実用的であるといえる。

3 数値シミュレーションによる考察

3.1 シミュレーション結果と実験結果の比較

本研究の蒸発散実験は冬期に行ったが、屋上緑化の機能を発揮するのは夏期である。夏期にどのような傾向を示すか、水分特性曲線と冬期における蒸発散実験からある程度は予測することができる。そこで詳細に予測するために土壌水分の挙動についての数値シミュレーションを行った。この手法として 2 次元不飽和土中の水分と溶質の移動予測プログラム

(Hydrus-2D) を用いた(取出・井上, 2004). まず各土壌の水分特性曲線を Van Genuchten モデルで近似し, 数値シミュレーションを行い, 実験結果と一致するかどうか検証した. 図 1 に示している実線は Van Genuchten モデルのパラメータの同定を行って求めたものである.

芝生面は大気境界条件, 底面は不透水と設定し, 根の密度は全層で均一とした. 実際の蒸発散能の値を入力して, 蒸発散量の経日変化を計算した(真鍋, 2005). この結果から蒸発散比が低下し始めるまでの経過日数(可能蒸発散日数)を, 蒸発散が 0 になるまでの経過日数(蒸発散日数)を求めた. 表 3 に示す通り可能蒸発散日数は 9~82 日となり, 松葉以外の土壌では実験結果とほぼ一致した. 松葉が一致しなかった理由としては, 有効水分量が小さすぎるために, 数値シミュレーションにおいて計算が不安定となったためと思われる. 全体的に有効水分量が多ければ可能蒸発散日数も長くなる傾向があることが分かる.

表 3 数値シミュレーション結果と実験結果の比較

土壌名	可能蒸発散日数		蒸発散日数		有効水分量 ($\text{cm}^3/100\text{cm}^3$)
	計算値	実験値	計算値	実験値	
松葉炭	46	48	56	74	7.7
粉碎松葉	82	88	90~	90~	28.2
粉碎松葉炭	67	72	90~	90~	20.6
木炭	69	72	90~	90~	18.5
マサ土	45	46	47	56	6.2
松葉	9	31	47	50	3.8

蒸発散日数について見ると, 粉碎松葉, 粉碎松葉炭, 木炭の 3 種類の土壌は 90 日以上となった. 実験結果とあまり一致していない. 数値シミュレーションでは芝生容器からの蒸発散は全て蒸散として, 土壌面蒸発は 0 としている. しかし実験では根が吸水を停止し蒸散が 0 になった後でも蒸発は続いているため, 境界条件は実際の条件を反映していないと思われる. 実際の屋上緑化では根が吸水を停止して枯れるまで灌水しないということはないため蒸発散日数についてはここでは検討しない.

屋上緑化に使用する土壌には軽量性が求められる. 本研究で使用した土壌を厚さ 10cm の土壌層とした場合, マサ土以外は屋上緑化資材として適当であることがわかった(真鍋, 2005).

3.2 夏期におけるシミュレーション結果

可能蒸発散量を 8mm/day とし, 数値シミュレーションを行い得られた結果を表 4 に示す.

この結果, 粉碎松葉, 粉碎松葉炭, 木炭が長い蒸発散日数を維持できるという結果となった. 一方, マサ土は 3 日で枯死するという結果となった. これは土壌厚が薄いこと, 有効水分量が少ないことによるものであり, 屋上緑化の土壌としては不適と思われる. 松葉炭と松葉はマサ土より長い期間にわたっ

て蒸発散を行えるものの, 他の 3 種類の土壌に比べると半分程度の期間に過ぎない.

表 4 夏期における数値シミュレーション結果

土壌名	可能蒸発散日	蒸発散日数
松葉炭	3	5
粉碎松葉	7	10
粉碎松葉炭	5	8
木炭	5	9
マサ土	2	3
松葉	1	5

4. まとめ

松葉以外はマサ土より有効水分量が多いため芝生が枯れるのを遅らせることができた. 中でも粉碎松葉, 粉碎松葉炭, 木炭の有効水分量が高いが, 可能蒸発散比は粉碎松葉炭が一番高く, 逆に粉碎松葉が一番低かった. 蒸発散による温度低下は粉碎松葉炭の方が高い効果を期待できる.

松葉炭の有効水分はあまり高くはないが, 炭にすることにより松葉よりも高い値となっている. 松葉炭は脆いので細かくする手間はあまりかからないため, 細かくすることで有効水分の向上が可能である. 軽量性に関してマサ土以外は飽和状態で約 $1(\text{g}/\text{cm}^3)$ と軽量で, 屋上緑化に必要な軽量性を有している.

HYDRUS-2D によるシミュレーションを行った結果, 完全には一致しなかったものの実験通りの順番に蒸発散比が減少し始めた.

粉碎松葉, 粉碎松葉炭については屋上緑化の土壌代替材として利用できることがわかった.

引用文献

- [1] 九州森林管理局佐賀森林管理署(2007): 平成 19 年度虹の松原保全・再生対策調査報告書
- [2] 真鍋将一(2005): 松葉の有効利用による屋上緑化に関する研究, 佐賀大学大学院修士論文
- [3] 虹の松原保護対策協議会(2008): 平成 19 年度虹の松原再生・保全実行計画書
- [4] 農林水産省構造改善局(1983): 土地改良事業計画設計基準・計画 畑地かんがい編
- [5] 田中 明, 北村憲子(2001): 佐賀県「虹の松原」における松露栽培の試み, 平成 13 年度海岸林研究会山形大会講演要旨集
- [6] 取出伸夫, 井上光弘監訳(2004): HYDRUS-2D による土中の不飽和流れの計算, 農業土木学会土壌物理研究部会 HYDRUS グループ

[受付 平成 21 年 3 月 5 日, 受理 平成 21 年 6 月 15 日]