



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	骨炭と外生菌根菌がカラマツ稚樹の成長へ及ぼす影響：森の木々の根本で焼骨を土に還すドイツの自然葬への取り組み
Author(s)	小池, 孝良; Koike, Takayoshi; 上田, 裕文 他
Citation	北方森林保全技術, 41, 16-20
Issue Date	2023
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90721
Type	departmental bulletin paper
File Information	2022_41 (5).pdf



I-5 骨炭と外生菌根菌がカラマツ稚樹の成長へ及ぼす影響

ー森の木々の根本で焼骨を土に還すドイツの自然葬への取り組みー

小池 孝良¹, 上田 裕文², 幸田 圭一¹, 北岡 哲^{1,3}, 佐々木 圭子⁴,
藤戸 永志⁴, 伊藤 悠也⁴, 玉井 裕¹, 渡部 敏裕¹

1 北海道大学農学研究院, 2 北海道大学メディア・コミュニケーション研究院

3 現所属: 農業研究機構・農業研究センター, 4 北海道大学北方生物圏フィールド科学センター

はじめに

本研究の背景として、人口減少化における地方の縮退の中で「墓じまい」が増え、一方で、都市と地方の人口流動を踏まえた、新たな墓地管理システムを構築することが求められている。さらに、手入れの遅れた人工林の自然再生技術を、持続的な森林墓地空間の管理に応用した新たな多角的林業経営モデルの構築を目指す。そして SDGs における持続的な地域社会の構築に寄与することを大きな目標とする。

この最終的目標のなかで、北海道で有望視されてきたカラマツの根圏での活動に迫る研究を進めている（玉井 2019, 来田・小池 2022, 小池 2022）。この中で、直近の“主人公”となる“焼骨”の生態系における生物的作用に迫るため、骨粉を作成し、その働きを検討する必要性が生まれた。東北アジア・極東ロシアで頻発する山火事で生成する炭は、生態系における養分保持と循環（Makoto et al. 2012, Makoto and Koike 2021）、さらに海岸林や森林再生には水分保持に関連して成長促進の働きする（Fujita et al. 2020）。また、世界的にもリン鉱石の枯渇が指摘されて久しい（米山ら 2023）。ここで骨炭は、有機物を炭化し、炭素が炭として残った多孔質の粒状の黒色の物質で、木炭より劣るが温室効果ガスの吸収にも有効である（Hairani et al. 未発表）。また、ダイズの上長成長も促進する（渡部 未発表）。主成分はリン酸石灰 $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$ であり、リン肥料としても期待できる。

これから産まれる成果を基礎に、ドイツで一般的な自然葬の手法を用いて、森林の木々の根本で遺骨を土に還す（上田 2018）、新たな墓地の形態と埋葬システム、森林管理システムを開発する（上田 2019）。そして、樹木葬墓地の開設支援、運営支援、管理支援を行い、承継者不足、無縁墳墓の増加、森林の荒廃などを緩和する技術への基礎情報を得ることを目的とする。

材料と方法

1) タネ～芽生え



図-1. 発芽床と芽生え

カラマツのタネは、北海道総合研究機構・林業試験場から試験用に手配いただいた。2022年11月上旬から二週間、イオン交換水に浸したキッチンペーパーにカラマツのタネ（2022年産）を包み、冷蔵庫にて低温湿層処理（0～4℃）を二週間施した。このタネを実験苗畑の温室において、鹿沼土を詰めた園芸用発芽床に播種した。殺菌処理はしていない。過度な乾燥を防ぐため、発芽床上部を透明なポリエチレンをかぶせた結果、一週間程度で発芽した（図-1）。

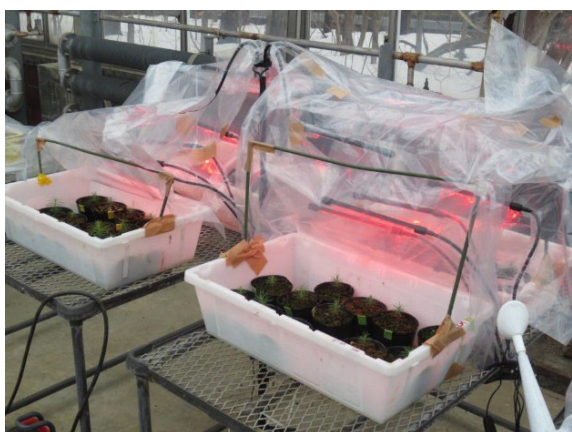


図-2. 補光処理(波長 660nm 点灯)

11 月下旬までに、初生葉が出きった。この間、温室の水道水を乾燥しないように、7～10 日間隔で灌水した。なお、2022 年 12 月 1 日からは、夜間 15℃以上の温度を確保するため、農学部旧温室へ移動して 3 月いっぱい栽培した。同日に、市販の中径赤玉土をつめた直径 10.5cm の 3.5 号 (570ml) 黒色ビニルポットに 1 本ずつ植え替えた。芽生えの定着を確保するため、市販のメネデル 100 倍希釈液をジョウロで与えた。室温は、最高／最低気温は 28／14℃であった。

冬芽の形成を防ぐため、補光は 12 月 3 日から市販の園芸用光源 (LED 植物育成ライト観葉植物 4 ヘッド式 ; アナミストア) を用いて 18 時間以上の日長 (660nm、450nm : 光量約 $400 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) とした (図-2)。さらに 12 月 20 日からは光源を追加して芽生え上部で約 $450 \mu \text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ とした。

2) 炭の作成



図-3. 生成された骨炭と粉砕

市販のニワトリの手羽元の骨を集め、本学木材化学研究室所管のマッフル炉で焼骨を作成した。ここで、電気マッフル炉 (KDF S90/S90G, デンケン・ハイデンタル、京都) を用いた。酸素を入れないため、アルゴンガスを流した (ガス圧 0.1 MPa, 流量 1.0～1.2 L/min)。

昇温プログラム : 室温から 600℃まで (10℃/分)、最高温度保持時間 : 3 時間、アルゴン気流下で室温まで自然放冷 (一晚) した (図-3 左)。この炭を乳鉢で粉砕して、処理に供した (図-3 右)。

3) 処理

上記の黒色ビニルポットの底に不織ゴミ袋を 4cm 角に切って敷き、赤玉土の中径粒を詰めた。予備材料も含めて 76 鉢用意し、8 鉢ずつ 8 つに分けた。つまり、外生菌根菌 (ECM) 接種を意図したカラマツ根の洗浄液を与える生水 (ECM) 区と沸騰させて冷ました水区、それぞれに、炭の添加を行なう区と無添加区の 8 処理とした。

3-1) 炭の添加と元肥

この場合、上記ビニルポットの 4cm 深まで赤玉土を敷いた後、ニワトリ骨粉 (約 600℃) で生成したものと、別に哺乳類である牛骨粉 (約 800℃) を入手した。極めて残念であるが、600℃で生成した牛骨粉は、衛生上の問題があつて入手できなかった。炭の構造は生成時の温度に依存するため (Makoto et al. 2011; Makoto and Koike 2021)、生成温度は揃える必要があるが、かなわなかった。これらをエッペンドルフ・チューブの先端部を利用して、約 30ml の骨粉をまんべんなくポット面に約 2mm 敷き詰めた。これは、Makoto et al. (2010) による炭の添加法として 1) 土壤に混ぜ込む、2) 表面に敷き詰める、3) 3～5cm 深さにサンドウィッチ状に敷



図-4. 約 86 日の芽生え（処理前）

く、を検討した結果に習った。つまり、グイマツ芽生えの成長が最も良かった 3) の処理法を採用した。

ここで、赤玉土にはケイ素以外の養分はほとんど無いので、芽生えの成長が出来なくなるため芽生えの定着を確認してから（2022 年 12 月 20 日；約 34 日目）、市販のメネデル 100 倍希釈液をジョウロで与えた。2 月 6 日の芽生え（約 86 日目）の根は、2 個体引き抜いて見たところ、最長の根は約 6cm で、枝分かれが下端部から始まっていた（図-4）。根長は地上部の 2 倍以上だった。なお、2023 年 1 月 8 日（約 53 日目）に市販のハイポネクス 3000 倍液を 500ml 与えて元肥とした。さらに、同じく 3000 倍液を 4 月 1 日（約 135 日目）にも与えた。

3-2) カラマツ根の洗浄液の添加

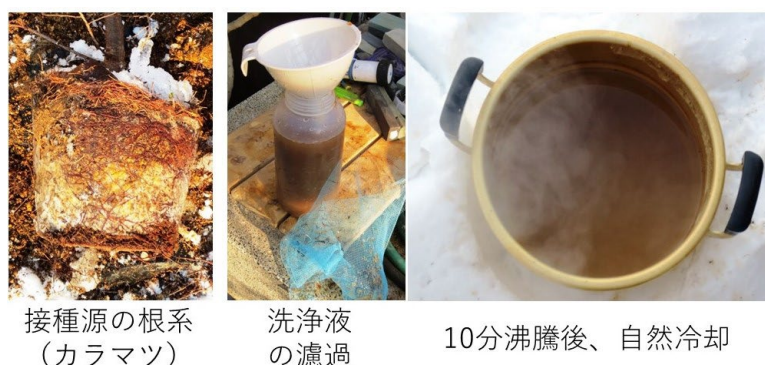


図-5. カラマツ根圏の洗浄液（接種源）

外生菌根菌の接種を意図して、2023 年 1 月 12 日（約 57 日目）に、樹高が約 60cm のカラマツ根 3 本を洗浄し、その洗浄水を濾過して、3 リットル沸騰するまで煮て（図-5 右）、冷ましたもの（冷却液）と常温に保ったままの生の液体をポット上からジョウロで与えた（図-5）。

育成と調査：芽生えの成長の観察

予算の年度制約から 3 月末から再び実験苗畑の温室へ移動して栽培を継続している。週に一度、代表的 6 個体（各 8 個体を栽培）について、苗高と分枝の状態を測定・観察した。

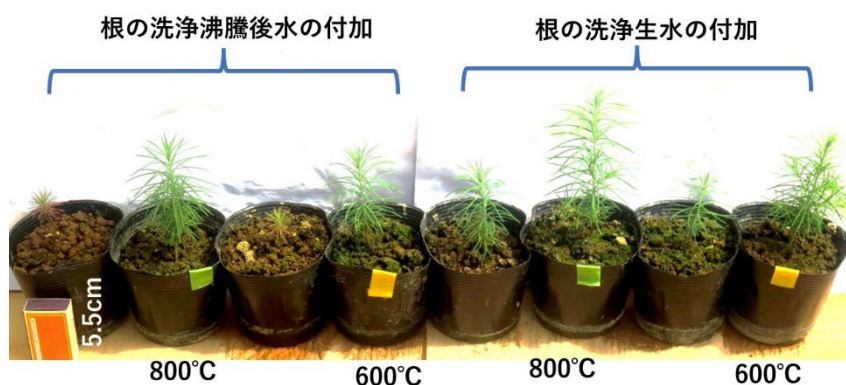


図-6. カラマツ芽生えの成長に及ぼす骨炭と根洗浄水の影響（約 135 日目）
800℃：生成時温度 800℃の牛骨炭；600℃：生成時温度 800℃の鶏骨炭。
左のマッチ箱の高さ：5.5cm

中間報告として、2023 年 4 月 1 日（約 135 日生）のカラマツ芽生えの成長状態を示す（図-6）。約 135 日までに見られた結果は以下である。



図-7. 約 125 日目の芽生えに見られた
針葉先端部の紅色化

で置いた生水のみ与えた個体の約 2 倍以上であった。この処理では、炭を付与していない場合でも、本葉が成長していた。生成された温度にかかわらず、骨炭の成長促進効果があったと考えている。骨炭が養分を吸着し菌根菌の発達しやすい環境を作っていたのではないかと考えている。

沸騰させた根の洗浄液を与えた骨粉なしの処理では、初生葉約 20 枚が見られた状態で成長していなかった（図-6 の左側の小さな個体）。2023 年 3 月 20 日（約 121 日目）までは針葉は緑色であったが、3 月 24 日（約 125 日目）頃から下方の針葉の先端部は赤紫色になっていった（図-7）。これは、野菜であれば、典型的なリンの欠乏症状とされる（矢印；米山ら 2023）。

これらに対して、根の洗浄液（生水）を与えた場合（図-6 の右側の 4 個体）、骨炭が加えられた個体は、カラマツの根の洗浄液を常温

展望

最終的には、掘り取りを行ない、器官別重、葉分析、そして菌根菌の感染と種組成を調べ、“北海道の木”になった感のあるカラマツ（来田・小池 2022）を樹木葬の墓標としての可能性を確立したい。特に、骨粉の分解に関わる外生菌根菌の働きに注目する予定である。このため、本課題を継続し、2023 年度には成果を出していきたい。

樹木葬を実施する場合、木々の根本で遺骨を土に還することが期待されるが、黒く見える骨炭の成分である炭素は分解されないで残る。しかし、リン、カルシウム分は樹木に取り込まれ、外生菌根を通じて宿主のカラマツの樹体を構成し、菌根菌など地下部ネットワークを通じて、林分の中で循環すると考えられる。このシステムの可視化に貢献できることを期待している。

謝辞：タネの入手には、道総研の来田和人氏と成田あゆ氏の懇切な支援を得た（道総研－北海道大学の包括連携協定に基づく）。本研究費の一部は、大学発新産業創出プログラム（START）大学・エコシステム推進型起業活動支援プログラム研究開発課題「遺骨を土に還す樹木葬で世界に生きた証を残し人々とつながり続けるお墓」（代表：上田裕文；YY2022）による。ここに記して感謝する。

文献

- Fujita S, Watanabe H, Tamai Y, Mosoras V, Satoh F, Koike T. (2020) Effects of biochar and litter on water relations of Japanese black pine (*Pinus thunbergii*) seedlings. *Journal of Forest Research* 25(2): 76-82.
- Hairani A Watanabe T, Nagatake A, Affandi D, Hatano R, Osaki M. (未発表) Potential effect of wood and bone biochars on greenhouse gas emission of paddy soil under waterlogged and upland Conditions.
- 来田和人・小池孝良 (2022) 日本の林木育種の過去・現在・未来：(1) カラマツ－1 カラマツ・グイマツ雑種 F₁ の林木育種小史－、*森林遺伝育種* 11: 8-13.

- 小池孝良 (2018) カラマツ属苗木の成長の及ぼす環境変化の影響予測ー特に共生菌類に注目してー、北方林業 69:42-45.
- 小池孝良 (2022) 日本の林木育種の過去・現在・未来 : (1) カラマツー2 カラマツの地球規模における環境保全上の重要性、森林遺伝育種 11: 14-17.
- Makoto K, Tamai Y, Kim YS, Koike T. (2010) Buried charcoal layer and ectomycorrhizae cooperatively promote the growth of *Larix gmelinii* seedlings. Plant and Soil 327: 143-152.
- Makoto K, Choi D-S, Hashidoko Y, Koike T. (2011) The growth of *Larix gmelinii* seedlings as affected by charcoal produced at two different temperatures. Biology and Fertility of Soils 47: 467-472.
- Makoto K, Shibata H, Kim Y-S, Satomura T, Takagi K, Nomura M, Satoh F, Koike T. (2012) Contribution of charcoal to short-term nutrient dynamics after surface fire in the humus layer of a dwarf bamboo-dominated forest. Biology and Fertility of Soils 48: 569-577.
- Makoto K, Koike T. (2021) Charcoal ecology: Its function as a hub for plant succession and soil nutrient cycling in boreal forests Ecological Research 36: 4-12.
- 玉井裕 (2019) グイマツ雑種 F₁ 1 年生播種コンテナ苗の成長と菌根形成. 北方林業 799 : 104-108.
- 上田裕文 (2018) こんな樹木葬で眠りたいー自分も家族も幸せになれるお墓を求めて、旬報社.
- 上田裕文 (2019) 北摂の樹木葬「木もれびと星の里」<https://jyumoku.toshiseibi.org/birth-story/>
(2023 年 5 月 31 日訪問)
- 渡部敏裕 (未発表) ダイズとソルガムの成長に与える各種炭の効果
- 米山忠克・長谷川 功・関本 均 (2023) 新植物栄養・肥料学 [改訂版]、朝倉書店