HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	カラマツ稚苗の成長に及ぼす骨炭と外生菌根菌の影響ー樹木葬の墓標木としての期待ー
Author(s)	小池, 孝良; 増井, 昇; 玉井, 裕 他
Citation	北方森林保全技術, 42, 38-43
Issue Date	2024
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93949
Type	departmental bulletin paper
File Information	2023_42 (8).pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

北方森林保全技術　42：38-43

Ⅰ－８　カラマツ稚苗の成長に及ぼす骨炭と外生菌根菌の影響

―樹木葬の墓標木としての期待―

小池 孝良[1]，増井 昇[2]，玉井 裕[1]，佐々木 圭子[3]，藤戸 永志[3]，
伊藤 悠也[3]，渡部 敏裕[1]，上田 裕文[4]

1 北海道大学農学研究院、2 同・農学院（現在・静岡県立大学）、
3 同・北方生物圏フィールド科学センター、4 同・メディア・コミュニケーション研究院

はじめに

少子高齢化から多死社会を迎え、家族構造や死生観が大きく変化する中、従来のような承継者（Box 参照）を必要としない新たな墓地の形が求められている。そこで、遺骨を土に還す樹木葬墓地の開設のための支援と、故人と遺族間の認識のギャップを埋め、友人・知人にとっても納得できる森林の古くて新しい利用の一環として“樹木葬”を考える流れが広まってきた（上田 2018；上田 2022）。この流れは全国に広がってきたが、ご遺体を堆肥のように扱う人間コンポストまで出てきたアメリカの遺体の扱い（Guenot・山口 2023）もあってか、関西では”循環葬”と呼ぶ遺骨の扱い方法（林床に小さな穴を開け、お骨を“散骨”する；循環葬 2024）が現れた。

本研究の最終目的は、終活ブームでも墓地市場はいまだ遺族中心で、死者と遺族の認識ギャップが存在している問題を、終活を行う人のニーズに応えるコミュニケーションで解決し、新たな墓地のあり方のパラダイムシフトを目指す。これを踏まえ、本研究では、北海道のほぼ全域に導入されたカラマツを墓標木に、遺骨を土に還す樹木葬によって生きた証を残し、人々とつながり続けるお墓のあり方に迫る基礎データを提供することを至近の目的とした。前稿（小池ら 2023）に引き続き、カラマツ稚樹を利用して牛骨炭をリン酸カルシウム［$Ca_3(PO_4)_2$］肥料と位置づけ、貧栄養土壌において活躍を期待できる外生菌根菌に注目して、2022 年 12 月から 2024 年 3 月に行なってきた成果を報告する。

Box　庶民とお墓の流れ

庶民がお墓を持つようになったのは江戸時代からとされている。 この頃、幕府が寺請制度（主に、キリシタンではないことを寺院に証明させる制度）をしき、檀家制度（特定の寺院に属して葬儀や供養を任せ、お布施などによってその寺院を経済的に支援する）を背景に、庶民であっても、1700 年代には墓石を置き先祖を供養することが一般的になっていった（圭室　2009）。しかし、明治政府によって寺請制度が廃止され、檀家制度も大きく変わっていった。1933 年に多磨墓地（霊園）が設立し公園墓地の形ができていった。この事業は、東京都の技師、井上清（「建墓の研究」1942. 雄山閣）が実施したが、根底には本郷高徳～白澤保美ら、欧州からの情報（Pietzner H. 1903. Landschaftiche Friedhofe “墓域の景観”）が影響を与えたという（槇村 1992）。なお、仏教の発祥の地、インドでは、火葬したご遺骨を散骨（川や海に流す）、あるいは遺体を火葬せず、そのままインダス川へ流す「水葬」が行われ、お墓はない。チベット高地では、「鳥葬」（遺体を鳥に食べさせ天に還す）が行なわれている。

参考資料：

槇村久子 1991. 多磨墓地をはじめとする公園墓地の成立･展開と今日的課題. 造園学雑誌 55: 121-126.
圭室文雄. 2009. 檀家制度の成立と展開, 明治大教養論集 447：27-54.

材料と方法

1．植物材料

カラマツの精選種子は道総研・林業試験場から提供いただき、低温湿層処理後、発芽させて実験に供した（小池ら 2023）。カラマツが 100 m 周囲に生育していない温室で稚苗を得て、市販の鹿沼土と赤玉土の混合土に植え付け、苗高が約 5 cm（本葉の成長が始まった）時点で、10 cm 直径のビニルポットに植え付けた。その後、プラスチック・ポット（直径 16 cm；高さ 18 cm）へ植え替えた（写真 1）。この際、ビニルポットの底を切り抜き、大きいポットへ

移動させてポット側面を切り取って根の損傷を最小限に抑えた。ポット底には 5 mm メッシュのビニルネットを敷き、底面からの土壌の漏れを防いだ。

2. 処理

上記の 1 本植えプラスチックポットをコンテナに 6 ポットずつ設置して、温室に置いて潅水をやや乾燥条件にし、成長を観察した。なお、外生菌根菌を含んだ“生水”処理は、ビニルポット植栽時点のみ行なった。詳細は前報を参照されたい（小池ら 2023）。

3. 測定

苗高、分枝、冬芽の形成の調査は約 2 週間間隔で行なった。8 月中旬に針葉のクロロフィル（DMSO 法；Shinano et al. 1996）と窒素量（NC アナライザ使用）を測定した。この際、針葉の形態

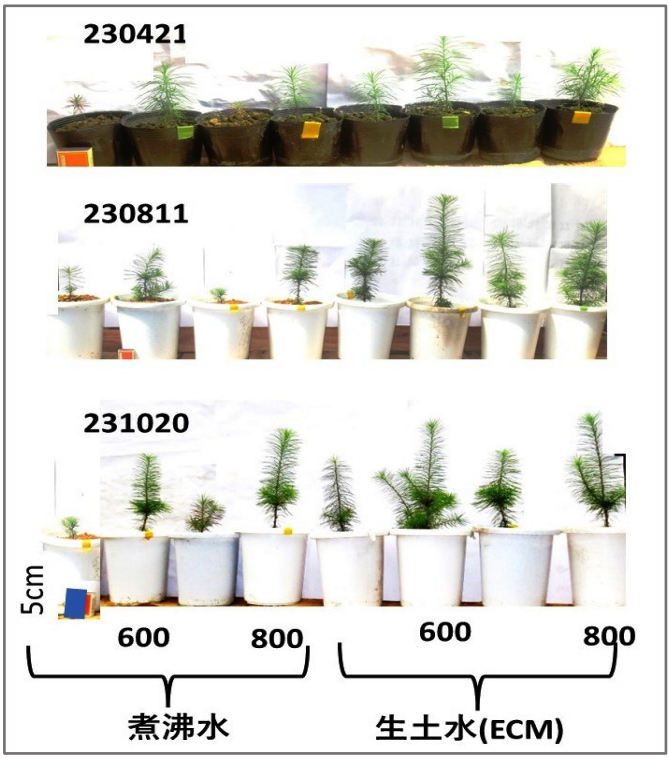


写真 1. 外生菌根菌（ECM）と骨（600 度、800 度で生成）のカラマツ成長への影響



写真 2. 主根・側根と細根



写真 4. 個体別リタートラップ

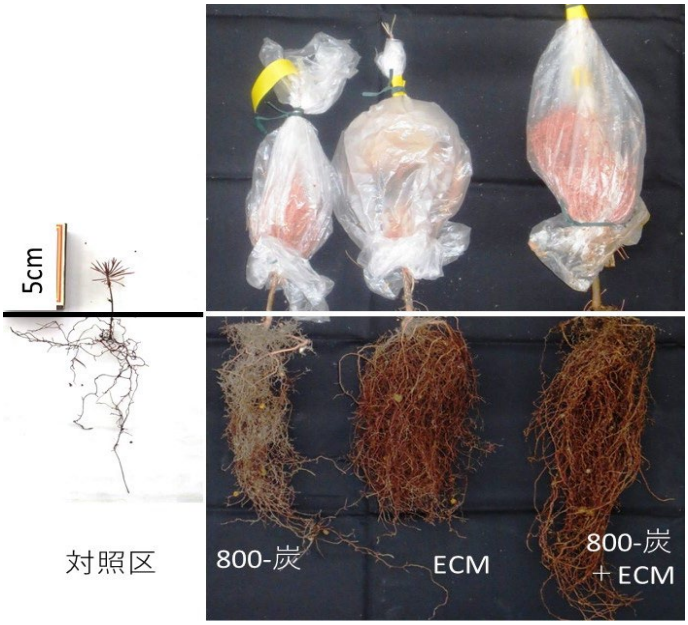


写真 3. 800 度焼成の炭と外生菌根菌（ECM）を施用したカラマツ実生苗サンプル個体の様子

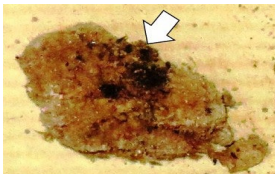


写真 5. 土壌中に添加した炭の状態（800 度焼成炭）
矢印部が炭の痕跡を示す

観察も行なった。10 月中旬に全個体の冬芽形成が確認された時点で、外生菌根（ECM）の調査を行なうため、冬芽の形成を確認後も栽培を続け、落葉前に個体別のリタートラップを市販のキッチンポリパック（40 cm x 30 cm）を用いて作成した。このトラップの底を切って根元をしばり、割り箸で支柱を作り、一端を固定して針葉を集めた（写真 4）。12 月上旬になって針葉が落葉した時点で解体し、器官別（1,2 年生の主軸、枝、主根＋側根、細根部）の乾燥重量を調べた（写真 2, 3）。写真 3 左端は、対照区の個体であり、本葉の確認が出来なかった個体数は 6／16 個体であった。なお、解体時には、牛骨粉を添加した土壌層を注意深く調べ、骨炭の状態を調べた（写真 5）。葉の養分は 10 月上旬に採取し 80 度で乾燥後、誘導結合プラズマ発光分光分析（ICP）法によって調べた。

解体の際、側根を選んで外生菌根（ECM）の形成率と菌種を調べた。ECM 種の同定は、ITS 領域の BLAST 検索*から実施した（例えば、Wang et al. 2015）。

＊：菌類の種判別に適したリボソーム DNA 領域（Internal Transcribed Spacer（ITS 領域：転写領域内部のスペーサー）を言う。また、BLAST（Basic Local Alignment Search Tool）は、配列間の局所的な類似性のある領域を見つけるツールである。

4. 墓標木を彩る根元花の可能性

ドイツでは、墓参に訪れる遺族らが墓標木の根元を飾ることがある（上田 未発表）。この飾り花として、雪の降らない北海道より暖かな地方（耐冷温度-3 度以上）では、ゼラニウム（園芸名 Geranium；学名（*Pelargonium* x *hortorum*；アフリカ原産）が利用できると考え、挿し木での増殖を試みた。発根率を上げる可能性を市販の植物活力剤メネデール（大阪）200 倍希釈液を用いて調べた。約 10 cm の挿し穂を作成し、希釈液を吸水させて発根を確認した。

結果と考察

カラマツ稚苗の苗高成長は、概して ECM 処理区が大きく炭の添加区での成長がこれらに続いた（写真 1）。左端は一種の ECM しか感染しておらず、一年以上栽培してきたが、本葉の確認は出来なかった。なお、解体時には、骨炭を添加した土壌層を確認した（写真 5）結果、期待していた骨炭の消失はなかった。

2023 年 7 月頃までは、800 度焼成炭と ECM の処理区の個体の成長が旺盛であった。しかし、その後、差が徐々に少なくなった。クロロフィル a/b には処理間差はなかったが、両温度で焼成された牛骨炭＋ECM 処理区のカラマツ針葉の全クロロフィル量は、800 度骨炭添加区がやや高く、ECM の存在でより増加した。理由は解らないが、窒素量もやや増加していた。しかし、ICP 分析によると、針葉中のリンとカルシウム濃度には有意差がなかった（P<0.10

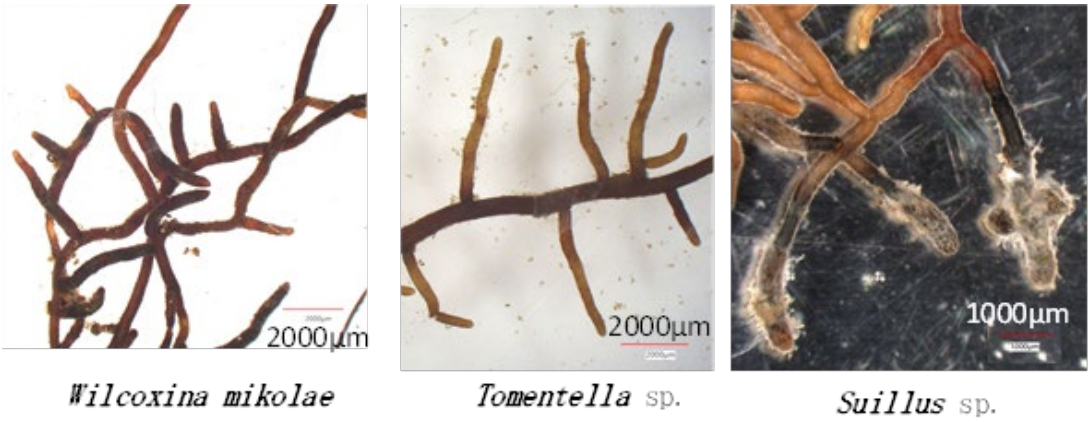


写真 6. 確認された外生菌根（倍率と色に注目）

）。骨の約 70%はリン酸カルシウム［$Ca_3(PO_4)_2$］なので、現状のように高温で加熱すると、$2Ca_3(PO_4)_2$ 加熱→ $6CaO + P_4O_{10}$ となる。従って、肥料として機能するかどうかは、農水省での基準（農水省　2014）での骨粉肥料の定義の一つ、「空気を遮断し、800℃以上で 8 時間以上加熱」を採用した（800 度炭）。また、600 度 12 時間炭も利用した。しかし、両者の違いも不明瞭であった。もう一つ予想していたのは、外生菌根（ECM: ectomycorrhizae）の働きである（齋藤 2023）。カラマツは典型的な外生菌根依存タイプの樹種であり、共生する ECM の菌種もある程度解明されている（Wang et al. 2023）。

乾燥細根 1 g 当たりの菌根数は、対照区に比べると ECM 処理区では増加傾向にあった。しかし、ITS 領域の解析の結果、先駆性の遍在種 *Wilcoxina mikolae*（和名なし、子嚢菌）が、対照区の個体でも感染しており、ECM 全体としては 99%の感染率であった。このことが ECM によるリンの吸収量には処理間での違いが無かったことを説明すると考えた。なお、ECM 処理区では炭の添加の有無にかかわらず先駆的な *Tomentella* sp.（ラシャタケ属、担子菌：大量の光合成産物を必要とする；Wang et al. 2015）も感染していた（写真 6）。細根が細かく分枝し根端が増加しているのは、これらの外生菌根が形成されていたことを意味する。

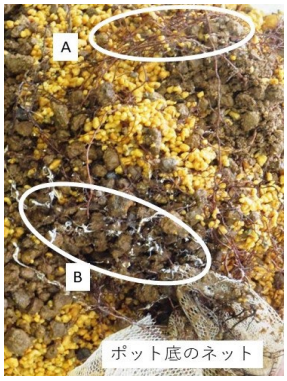


写真 7．根の様子、A:菌根、B:*Suillus* 属の感染

800 度炭＋ECM 区では、カラマツのスペシャリスト ECM であるヌメリイグチ属（*Suillus* sp.）の感染が 60%以上の個体に見られた。本種は、根端が白色のマントルで覆われていることから、肉眼でも感染を確認できる（写真 7）。本種は遷移中後期種と考えられているので、対照区と生水処理（含む ECM）個体を用いて、2024 年 6 月現在も、調査を札幌実験林の温室を利用して栽培を継続している。 2024 年度内に解体し、感染率の調査を実施する予定である。

墓標木の根元を飾る植物の検討素材として、今回はゼラニウムを対象にした（写真 8）。発根促進剤とされるメネデールの効果は、本種に関してはわずかであった。発根率は、メネデール処理区では 95%で無処理区でも 90%の発根率であった。樹木葬を考えるとき、根圏（樹冠の先端から約 1m 以上を加えた位置まで）の養生として、花木を植えることでご遺骨と根系を護り、墓標木の保護にも役立つので切り花で飾るだけではなく、いわば“根元装飾用灌木（植物）”を考えることも今後の検討課題としたい。このためには、基礎情報として 1970～80 年代に精力的な研究の行なわれた樹幹流の影響（例えば、松浦 1992）を踏まえた調査を行なう必要がある。一般に樹幹流の影響のある根元では、土壌は酸性化しやすいので、墓標木の根元にはツツジ科の灌木など、酸性土壌を好む植物の導入が好ましい。



写真 8．ドイツにおける墓標木の根元飾りの花（上田裕文氏撮影）とゼラニウム発根実験の結果

展望

本究の達成目標は、はじめに述べたが、樹木葬のプロセスを森林生態系の研究と位置づける取り組みである。特に北海道では、人口減少が急激なことに加え（小池 2006; 北海道 2024）、従来の家族形態は維持が難しくなる地域が増えている。各種の宗教や無宗教者も存在する

が、仏教であれば、お寺の檀家数も減って（Box 参照）、ご遺体をどのように扱うか、自治体の大きな課題になることは必至である（上田 2018）。

もちろん、各地域での取り組みも始まっている。「いのちと自然の物語をつむぎなおす」ことをテーマに掲げる一般財団法人 ハヤチネンダでは、“私を還す風景をつくる”山林整備なども実践して、いわば里山づくりの一環としても取り組んでおり、生態系の物質循環を意識した内容をして注目している。

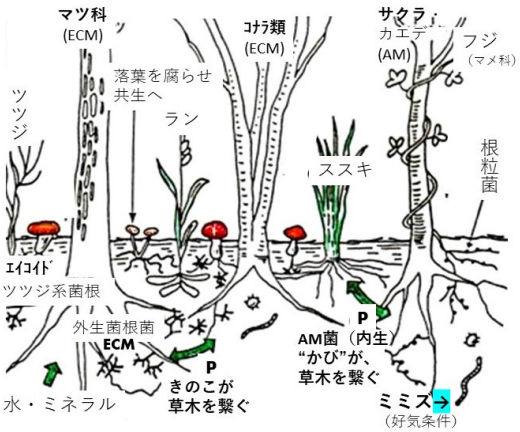


図 1　菌根菌に注目した森林生態系
（小池ら　森林保護学の基礎から作成）

本稿では、お骨を森林生態系の物質循環に加えるための一助になることを意図した（図 1）。特に、菌根菌（内生菌根 AM；外生菌根 ECM；ドウダンツツジ以外のツツジ科のエリコイド菌根；ラン菌根など）に注目して、お骨を、森林内の落葉落枝（リター）～菌根菌～宿主樹木～森林という流れ、そして、土壌に団粒構造を形成するミミズの活躍できる明るい森を造ることで、物質循環と土壌の好気性が維持できて、森林のメタン消費（＝吸収）能を維持できる（小池・高橋 2023）。そして、その森林が維持される限り（＝森林純収益説：小池 2021）、遺族・友人にとっては故人との永遠の対話の場であり続ける。これらには、森林の保全無くしては達成できない。ただ、お骨を土壌へ完全にもどすためには、検討せねばならない課題（高温度で処理したお骨の分解に関与する菌類の探索など）がある。どの程度、ホスト樹木が、お骨成分を吸収したのか目安を示す必要も、遺族・友人らの心情を考えると定量化の手法検討が待たれる。

謝辞

カラマツのタネは、北海道総合研究機構（道総研）と北海道大学の連携協定（2012 年 3 月締結）によって、道総研・林業試験場の来田和人・成田あゆ氏によって提供された。また、炭の粒径などの基礎情報は Kae（Nutthira Pakkang）博士と浦木康光教授（農学研究院木材化学研究室）のご支援によって提供された。針葉の ICP による元素分析には、上村（かみむら）由紀子氏（作物栄養学・技術支援員）の全面的な支援を得た。Box の記述には小池辰典氏（メディア・コミュニケーション研究院・研究員）の協力を得た。上述の内容に関して記して感謝する。

文献

Guenot M.（翻訳、編集：山口佳美）2023. アメリカで広がる「遺体の堆肥化」
https://www.businessinsider.jp/post-264864　（2024 年 6 月 6 日訪問）
ハヤチネンダ　https://hayachinenda.org/　（2024 年 6 月 7 日訪問）
北海道　2024. 北海道の人口減少問題対策について、
https://www.pref.hokkaido.lg.jp/ss/csr/jinkou/　（2024 年 6 月 8 日訪問）
循環葬　https://returntonature.jp/　（2024 年 6 月 6 日訪問）
小池司朗．2006.地域からみた人口減少のメカニズム．オペレーション・リサーチズ　51:30-36.
小池孝良・中村誠宏・宮本敏澄．2020.森林保護学の基礎、農文協、東京.
小池孝良.2021. 森林美学への旅―ザーリッシュの森をもとめて、海青社、大津.

小池孝良・高橋絵里奈. 2023. 自然資本を増進する「間伐」の意義. 山林 山林 1668 42-59.
小池孝良・上田裕文・幸田圭一・北岡 哲・佐々木圭・藤戸永志・伊藤悠也・玉井 裕・渡部敏裕. 2023. 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－. 北方森林保全技術, 41：16-20.
松浦陽次郎. 1992. 樹幹流と土壌の酸性化の実態. 森林立地 34：20−25.
Shinano T, Lei TT, Kawamukai T, Inoue M, Koike T, Tadano T. 1996. Dimethylsulfoxide method for the extraction of chlorophylls a and b from the eaves of wheat, field bean, dwarf bamboo, and oak. Photosynthetica 32: 409-415.
上田裕文. 2018. こんな樹木葬で眠りたい；自分も家族も幸せになれるお墓を求めて. 旬報社、東京.
上田裕文. 2022. 樹木葬墓地の近年の動向と形態変化に関する研究. ランドスケープ研究, 85(5):551-554.
Wang XN, Qu LY, Mao QZ, Watanabe M, Hoshika Y, Koyama A, Kawaguchi K, Tamai Y,Koike T. 2015. Ectomycorrhizal colonization and growth of the hybrid larch F_1 under elevated CO_2 and O_3. Environmental Pollution 197: 116-126.
Wang XN, Agathokleous E, Qu LY, Watanabe M, Koike T. 2016. Effects of CO2 and/or O3 on the interaction between root of woody plants and ectomycorrhizae. Journal of Agriculture Meteorology 72: 95-105.
Wang YN, Qu LY, Tamai Y, Watanabe T, Koike T. 2023. Essential Role of Symbiotic Microorganisms Supporting Forests in East Asia under Changing Environment. IntechOpen, Open access, https://www.intechopen.com/chapters/86879