

## 土壌中の炭の分布様式がグイマツ実生の成長へ与える影響

北海道大学大学院農学院

北海道大学大学院農学研究院 (現所属: 新潟大学農学部)

北海道大学大学院農学研究院

小林 真・金 容爽

小島 康夫

玉井 裕・小池 孝良

### はじめに

山火事は北方林における主要な攪乱要因であり、森林生態系の成立に密接にかかわっている。一方で極東ロシアの南部の森林などでは、人為的な要因による山火事の頻発が近年報告されている。極東ロシアの森林では、落葉性針葉樹カラマツ属の中でも特にグイマツが広く分布し、特に炭素の貯留庫として注目されている。また絶滅危惧種も生育する地域であるため、山火事の頻発によるグイマツ林生態系への影響の評価およびそのメカニズムの解明は緊急の課題である。

山火事頻度の増加は再来期間の短縮へ繋がる。それに伴い各山火事はリター蓄積量が少ない林分において発生することで、その強度が小さくなる。その結果、母樹の枯死率が減少する一方で、新たに更新する実生が成長する前に燃焼するという更新への影響が報告されている(7)。しかし、山火事頻度の変化による影響は上述したような破壊回数の増加という直接的な影響以外にも予測される。その一つが炭の生成を通じた間接的な影響である。

山火事によって土壌の表面に生成した炭は、火災後の時間の経過とともに、土壌の凍結融解、根返り、また動物による攪乱によって土壌中へ混入していく(4)。土壌へ混入した炭は土壌の養分量、養分の保持期間、細根量そして菌根菌の感染率の増加などを通じて植物の成長を促進することが報告されている(1, 7, 8)。一方で、混入されなかった炭は次の火災時にその多くが消費される(9)。

このため、極東ロシアの森林の様に火災の再来期間が短縮すると、先に生じた火災で生成された炭のうちで次の火災時に燃焼する割合が多くなる。つまり土壌への炭の混入は減少し、表面にのみ炭は存在するようになる。このような炭の分布様式の変化は、更新へどのような影響をもたらすのであろうか。

これまでの研究では、割合を変化させるなどの方法で炭を土壌中へ混入させ植物への影響を見た研究ばかりで、土壌中における炭の位置の違いによる植物への影響の違いについて比較された例はない(1, 7)。炭が表面に存在することは、根へ直接接触する炭の量が減り、炭が根系へ与える影響が減少することが予測される。しかし一方で、炭は電気的に結合していない水溶性の養分を持つため(5)、表面に存在しても養分を下方へ放出し植物への正の効果も予測される。

本研究では、ポット内の土壌に土壌凍結や根返りなどによって炭が混入した場合、および頻発する山火事の際に発生する表面のみへの炭の生成をモデル的に再現しそのグイマツ実生の地下部および地上部への影響を観察することで、近年頻発する山火事が、その跡地に更新するグイマツ実生の成長へおよぼす間接的影響を調べることを目的とした。

### 材料と方法

試験には、極東ロシア・アムール州産のグイマツ (*Larix gmelinii*) を用いた。グイマツの種子は20%過酸化水素水にて殺菌後、ペトリ皿に播種し発芽させた(16時間日長、30°C)。発芽を確認した種子は北海道大学構内の温室にて各300ml容積のポットへ1本ずつ植栽した。

植栽後も日長は極東ロシアの生育期の日長を想定し、人工補光装置をもちいて16時間となるよう設定した。温室内の気温は24~32°Cで推移し給水は1-2日ごとに行った。

実験に用いた土壌は、北海道大学天塩研究林内無名沢支線のカラマツとシラカバの混交林にて採取した。実験に用いた炭は、2007年7月に同林内にて行った火入れ実験の際に生成した炭を用いた(2)。炭のおもな材料は、シラカンバ、カラマツそして林床に優占するササのリターである。土壌と炭は、粉碎したのちに篩にかけ粒径が1~2mmのものを栽培に用いた。

ポットの土壌における炭の分布様式としては、山火事後の状況を想定して表面に層状に分布する場合、土壌の凍結融解による混入を想定して一様に混ぜた場合、また寝返りや動物による攪乱を想定して土壌内部に層状に混入させた場合を設定した。すべての炭の分布条件において、炭と土壌の混合割合は体積比で20:80とした。また対照区として、炭を混入しないものも準備し比較に用いた(図-1)。

外生菌根菌と炭の分布との関係を知るために、外生菌根菌の有無の条件を設けた。外生菌根菌ありの条件は前述の採取土壌および炭をそのままポットへ投与し接種源として実生を育てることで設定した。一方、外生菌根菌なしの条件は前述の炭と土壌を105°Cで5時間滅菌した後ポットへ投与することで設定した。

測定項目は、グイマツ実生の地下部重量、根端数、外生菌根菌の感染率、そして地上部重量である。

Makoto KOBAYASHI, Yong-Suk KIM (Graduate School of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589), Yasuo KOJIMA (Graduate School of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589, present address: Faculty of Agriculture, Niigata Univ., Niigata, 950-2181), Yutaka TAMAI, Takayoshi KOIKE (Research Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ., Sapporo 060-8589)  
Combinational effects of various distributions of charcoal and ectomycorrhiza in soil on the growth of *Larix gmelinii* seedlings

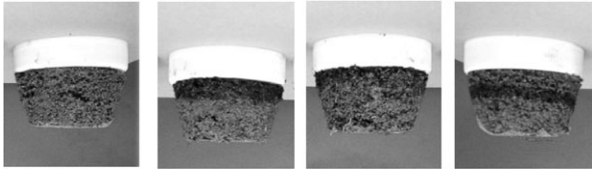


図-1 実験に用いたポットの土壌中にさまざまな分布位置・様式で炭を添加した様子。左から炭なし、表層に炭がある場合、土壌中に均一に炭が混入した場合、中間層に層状に炭がある場合。

### 統計処理

炭の位置による影響の違いの評価には、菌根菌の有無それぞれの場合において、Wald検定で対比較後、Holmの方法により多重比較を行い、有意水準の合計を5%以下になるように調整した。

### 結果

外生菌根菌(以下EMF)がある条件で根端数は、炭が無い対照区に比べて、土壌の表層に層状に存在していた場合、炭を混入していた場合、中間層に炭が層状に存在していた場合で高い値を示した(図-2 a)。中でも中間層に炭が層状に存在していた場合で根端数は最も多く、対照区に比べて約4倍の値を示した(図-2 a)。一方でEMFがない場合では、表面に層状に存在していた場合、および中間層に層状に存在していた場合で根端数の増加がみられたが、増加はともに対照区の1.3倍から1.5倍にとどまった(図-2 a)。

根重量について、EMFがある場合では、中間層に層状に存在していた場合でのみ、対照区にくらべて約2倍に増加していた(図-2 b)。一方、EMFがない場合ではすべての処理区で有意な変化は見られなかった(図-2 b)。

EMFの感染率については、EMFがある場合、すべての炭の分布条件で75%以上と高い値を示したが、処理間で有意な差は見られなかった(図-2 c)。また、EMFがない場合では全ての炭処理条件でほぼ0%の感染率を示し、滅菌処理が成功していたことが確認された(データ示さず)。

地上部重量は、EMFがある場合、対照区に比べて炭が中間層に層状に存在していた場合では3.5倍ほど顕著な増加がみられた(図-2 d)。EMFがない場合、炭が中間層に炭が存在していた場合で対照区に比べて顕著な増加がみられたが、増加程度は対照区にの2倍にとどまった(図-2 d)。

### 考察

今回の結果では、EMFが存在する場合、ない場合ともに中間層に炭が層状に存在する条件でグイマツ実生の地上部の成長の促進が見られた(図-2 d)。その理由として、中間層に炭がある場合において炭が直接根に接する確率が最も高く、炭による根系への正の影響が大きかったことが考えられる。ポット内の土壌を垂直方向へ3つ(表層、中間層、深層)に切り分けその中の根を観察してみると、炭が中間層に存在する場合に、中層の根端数の分岐が促進されている様子が見られた(データ示さず)。先行研究では、炭に直接接している根系において細根の発達が促される様子がフィールドにおいて観察されている(1)。細根促進のメカニズムには、根の伸長を妨げる物質の炭による吸

着、炭による根圏の好酸化などが示唆されているが、未だ仮説の域を出ていない。

一方EMFがない場合では、ある場合に比べて地上部の増加程度は抑制されていた(図-2 d)。その理由としては、EMFがない場合、炭とともに添加された養分が利用可能ではないことが挙げられる。炭には必然的に灰分が含まれる(5)、それらは養分としてみなされる。灰分の中にはリンやカルシウム、マグネシウムなどの養分が多く含まれる(5)。しかしカルシウムはリン酸と結合することでリンの可溶性を低下させ、植物が利用不可能な形態に変化させる。このような不可給態であるリン酸カルシウムに対して、ある菌根はシュウ酸をカルシウムに結合させることでリン酸を遊離し可給態にする働きが知られている(3)。このことから、本研究で観察されたEMF存在下におけるグイマツ実生の地上部重量の顕著な増加は、炭とともに根圏へ付加された大量のリン酸カルシウムを、EMFがその働きにより利用可能にすることで、グイマツ実生が十分に利用できていたことによると推察される。

総根端数の有意な増加は、EMFがある場合では表層に層状に炭が存在する場合、および均一に混入した場合でもみられた(図-2 a)。その理由としては、電気的にはなく結合していた養分が、徐々に土壌中へ放出され下方へ移動し、それらの養分を吸収するため根の発達がおこったと考えられる。しかしその程度は小さく、中間層に炭が存在し、EMFによって炭の表面に存在していた灰分が利用可能であった場合に比べ根端の増加程度は少なく、結果として地上部バイオマスの増加へ繋がっていなかったと推察される。

### 結論

炭は山火事後に長い時間をかけて土壌の表面から深層へ混入することではじめて、更新するグイマツ実生の成長を促進する効果があることが示唆された。またその効果には外生菌根菌が存在することが重要であることも示唆された。

一方で山火事の頻発により、炭が土壌中へ混入しないようになると、火災後に更新するグイマツの実生の成長量は減少することが示唆された。今後は今回の研究で推察された炭の表面における養分の存在形態(可給態か、不可給態か)について調べるとともに、実際の山火事跡地においてどれほど炭の存在様式と実生の成長量との関係があるのかを調べる必要がある。

謝辞 夏季に実生の世話を行ってくださった青山千穂氏、およびサンプリングの補助をしてくださった北条元、北川学両氏に記して感謝する。本研究には日本学術振興会特別研究員奨励費(課題番号:19-2105)の支援を得た。

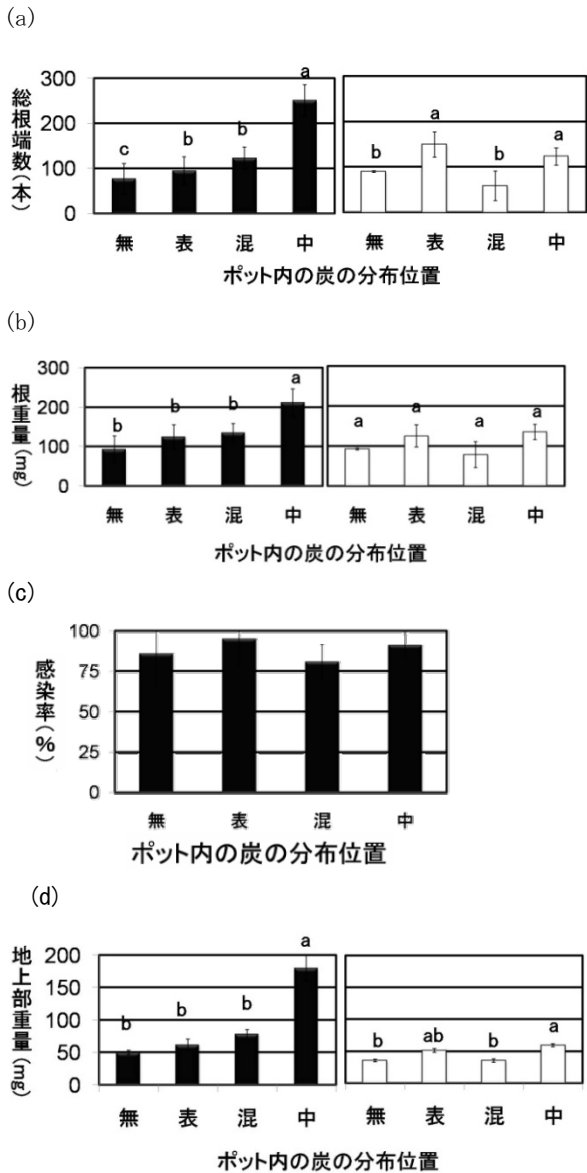


図-2 ポット内の炭の分布位置・様式と各成長パラメータとの関係。(a)は根端数, (b)は根重量, (c)は外生菌根菌の感染率, (d)は地上部重量との関係を示す。各図において黒いバーが示すのは外生菌根菌ありの場合, 白いバーが示すのは外生菌根菌がない場合の結果。無=炭無し, 表=炭が土壌の表面に層状にある場合, 混=均一に土壌に混入した場合, 中=中間に層状に存在した場合。エラーバーは標準偏差。反復=3-6。

引用文献

- (1) 小川真 (2007) 炭と菌根でよみがえる松. 築地書館
- (2) 小林 真・金 容爽・松井克彦・野村 睦・柴田英昭・里村多香美・上浦達也・北條 元・高橋廣行・小塚力・坂井 励・高木健太郎・佐藤冬樹・笹賀一郎・小池孝良 (2008) 火入れ処理が北海道のササ地における土壌のリンと窒素の動態へ与える影響. 日林北支論 56: 29-32.
- (3) Allen, MF. (1991) The ecology of mycorrhiza. Cambridge University Press.
- (4) DeLuca, TH., Aplet, GH. (2008) Charcoal and carbon storage in forest soils of the Rocky Mountain West. Frontiers in Ecol. Environ. 6: 18-24.
- (5) Glaser, B., Lehmann, J., Zesh, W. (2002) Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. Biol. Fertil. Soil 35: 219-230.
- (6) Makoto, K., Nemilostiv, YP., Zyryanova, OA., Kajimoto, T., Matsuura, Y., Yoshida, T., Satoh, F., Sasa, K., Koike, T. (2007) Regeneration after forest fires in mixed conifer broad-leaved forests of the Amur region of Far Eastern Russia: the relationship between species specific traits against fire and recent fire regimes. Eurasian J. For. Res. 10: 51-58.
- (7) Mori, S., Marjenah. (1994) Effect of charcoaled rice husks on the growth of *Dipterocarpaceae* seedlings in east Kalimantan with special reference to mycorrhizal formation. J. Jpn. For. Soc. 76: 462-464.
- (8) Warnock, DD., Lehmann, J., Kuypers, TW., Rilling, MC. (2007) Mycorrhizal response to biochar in soil - concepts and mechanisms. Plant and Soil. 300: 9-20.
- (9) Zackrisson, O., Nilsson, MC., Wardle, DA. (1996) Key ecological function of charcoal from wildfire in the Boreal forest. Oikos. 77: 10-19.