

秋田県森吉山麓高原ブナ林再生事業における

土壌改良材施用の効果

秋田県立大学

○金丸孔明・松下通也・蒔田明史

1. はじめに

土壌物理性は樹木の生育に重要な要因である。表土喪失により土壌環境の悪化したフィールドにおける植生回復事業では、土壌物理性を改善するために有機質系土壌改良資材のバーク堆肥（以下、バーク）を鋤き込む事がある。バーク堆肥とは、広葉樹や針葉樹の樹皮に鶏ふんなどの窒素源を添加して発酵させた堆肥で（藤原ら 2010）、土壌の膨潤化、保肥力の増大や透水性の改善効果（日本造園学会 2000）、粗孔隙の増大による通気性改善効果がある（松崎 1992）とされる。

本調査対象地とした秋田県の森吉山麓高原では、かつて樹高 30 m の広大なブナ林が広がっており（Nakashizuka 1984）、約 40 年前にブナ林伐採に加え土壌攪乱を伴った放牧地造成が行われた。2005 年から秋田県森吉山麓高原自然再生協議会が設立され、失われたブナ林を取り戻すための植栽活動が行われている（秋田県 2011）。放牧地造成により表土が喪失した劣悪な土壌環境を改善する施業方法として、植栽区全体の土壌を“リッパー”と呼ばれる機械で耕起し（深さ 60 cm 未満）、“ロータリー”による砕土（12~18 cm）を行った後、土壌改良材であるバークを植栽区全体に鋤き込み（40 t/ha）、ブナ植栽用の植穴にもバークを施用（2 kg/穴）する土壌改良方法（全面耕起法）が主に行われている。一方で、リッパーとロータリーによる土壌耕起を行った後、植栽区全体へのバーク鋤き込みを行わず、植栽用の植穴にのみバークを施用する場合もある。両施業法では、ブナ稚樹周囲の植生バイオマス量や光環境は同程度だが、バーク全面鋤き込みを行わない場合には、費用や労力を削減することができる。しかし、植栽区全面へのバーク鋤き込みの有無によるブナ稚樹の生育環境や生育状態の違いは、科学的に明らかになっていない。

本研究では、土壌表土が失われた劣悪な土壌条件での土壌改良方法の確立のために（1）バーク全面鋤き込み有区と無区でのブナ稚樹における生育環境の違いと、（2）バーク全面鋤き込み有区と無区での植栽ブナ稚樹の生育状態の違いを明らかにする。

2. 調査地概要&方法

（1）調査地概要

森吉山麓高原自然再生事業地内のお互いに 500 m ほど離れた 2 つの植栽エリア（No. 5、No. 8）を調査対象とした。それぞれの植栽エリアにおいて、植栽区全面へのバーク鋤き込み有区と無区をそれぞれ 1 区選び（合計 4 プロット）調査を実施した。

（2）ブナ稚樹の生育環境

ブナ稚樹の生育環境の指標として、土壌硬度と日平均体積含水率の測定を行った。

土壌硬度は、長谷川式土壌貫入計（H-100 型・分割式； ダイトウテクノグリーン株式会社）を用いて測定した。2 つの植栽エリア（No. 5、No. 8）のバーク鋤き込み有区と無区それぞれに

において、各区内で6地点を選んで深さ30 cmまで測定した(測定日: 2012年9月15日)。長谷川式土壌貫入計は、2 kgの落錘を上端(高さ50 cm)まで持ち上げた後に落下させ、そのエネルギーで先端の円錐コーン(ϕ 20 mm、先端角 60°)を土中に貫入させ、1回の打撃で貫入した深さの測定を行うものである。各区において、打撃1回あたり貫入した深さの測定記録より、相対的な土壌の硬さの指標である“軟らか度”を土壌深度5 cmごとに求めた。統計解析は、軟らか度を応答変数として、植栽エリア、パーク全面鋤き込みの有無、土壌の深さ階級を説明変数とした三元配置分散分析を行った後、TukeyHSD法により事後比較を行った。軟らか度(cm/drop)の根の進入可否の基準と土壌の硬さの表現は、

0.7未満:多くの根が進入困難・固結

0.7以上~1.0未満:根系発達に阻害あり・硬い

1.0以上~1.5未満:根系発達に阻害樹種あり・締まった

1.5以上~4.0未満:根系発達に阻害なし・軟らか

4.0以上:根系発達に阻害なし(低支持力、乾燥)・膨軟すぎ

とされる(日本造園学会 2000)。

土壌の体積含水率は、4区それぞれで区内3地点にECH₂Oセンサー(EC-5; DECAGON社)を1本ずつ設置し(深さ5 cm)、約3ヶ月間(2012年7月29日~10月25日)、1時間毎に記録した。回収した継時データから日平均値を求めた。統計解析は、説明変数として時系列自身の過去の値を利用する回帰モデルである自己回帰係数(AR coefficient)と移動平均係数(MA coefficient)を備えた自己回帰移動平均モデル(Autoregressive Moving Mean model、ARMAモデル)を用いて時系列解析を行った。その際に、赤池情報基準(AIC: Akaike Information Criterion)が最小となるようARMAモデルの自己回帰次数 p と移動平均次数 q を決定した[体積含水率: $p=3$ 、 $q=3$]。

(3) ブナ稚樹の生育状態

ブナ稚樹の生育状態の指標として、4区から各10個体をランダムに選び、稚樹高(cm)、当年枝伸長(cm)、個葉面積(cm^2)、SPAD値、最大光合成速度($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)を測定した。稚樹高の測定は2012年9月18日に行った。当年枝伸長は、ブナ稚樹の樹冠上部から一番成長したものをを選んで測定した(測定日: 2012年9月18日)。個葉面積は、4区で稚樹高と当年枝伸長を測定した各10個体を調査対象とし、1個体あたり3枚の葉を採取した(採取日: 2012年8月30日)。採取した葉の画像をスキャナーでデジタル化し、プログラムLIA32(Yamamoto 1998)を用いて葉面積を算出した。SPAD値は、各区6個体ずつ3枚の葉を選び、1枚の葉に対して3回測定を行った。測定にはミノルタ製葉緑素計SPAD-502を用いて、2012年8月31日に実施した。最大光合成速度は、各区で測定対象とした10個体の中から4~6個体を選び、1個体から2枚の葉を選び、1枚あたり2回測定を行った。また、調査地から40 km離れたアメダス阿仁合(北緯 $39^\circ 59.6'$ 、東経 $140^\circ 24.2'$ 標高120 m)では、2012年8月18日から29日まで降水量0 mmが記録され、測定日前日の8月30日は5.5 mmの降水量が観察された。測定は2012年8月31日の6時30分頃から10時30分頃にかけて行った。ライカ社のLI-6400P携帯用光合成蒸散測定装置を用い、照度 $1500 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ に設定し、最大光合成速度の値が安定するまで20~30分の光馴化を行い測定した。統計解析は、稚樹高、当年枝伸長、個葉面積、SPAD値、最大光合成速度のそれぞれを応答変数とし、植栽エリアとパーク全面鋤き込みの有無を説明変数として二元配置分散分析を行った。なお、個葉面積、SPAD値、最大光合成速度については、1個体あたり複数の葉を抽出して測定しているため、疑似反復を避ける

ためにランダム効果として“個体”を説明変数に投入した。

3. 結果

(1) バーク鋤き込み有無による生育環境の違い

軟らか度に対する三元配置分散分析の結果、植栽エリアの違い、バーク全面鋤き込みの有無、土壌深度の有意な影響を検出した(表-1)。全ての調査区において、表層(土壌深度 5~10 cm)の軟らか度は 1.5(cm/drop)以上の値を示した(図-1)。しかしバーク堆肥の全面施用の効果について見てみると、バーク鋤き込み有区で平均 1.59 (cm/drop)、無区では平均 1.86 (cm/drop)であり、バーク堆肥施用によって軟らか度が改善(向上)したとは言い難かった。むしろ、バーク全面施用の有無による軟らか度の差よりも、植栽エリア間による軟らか度の差の方が大きかった [No. 5:2.05 (cm/drop), No. 8:1.40 (cm/drop)]。

土壌の体積含水率について、7/29 からの時間推移を図-2 に示す。土壌水分は、降雨に伴い上下動を繰り返しながらも、夏から秋にかけてゆるやかに上昇傾向であった(図-2)。しかし、各時点における 4 区間の上下関係はほぼ一貫していた(図-2)。時系列解析の結果、時間傾向・植栽エリアの効果は有意に認められたが、バーク全面鋤き込みの効果は有意ではなかった(表-2、図-2)。各エリアにおけるバーク鋤き込みの有無による差異よりも、植栽エリア間での含水率の違いが大きかったことが明らかになった(図-2)。

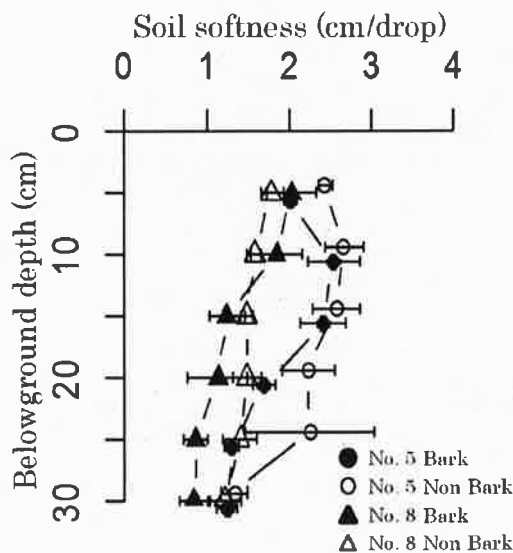


図-1 各プロットにおける土壌深度 5 cm ごとの軟らか度(平均±標準誤差)

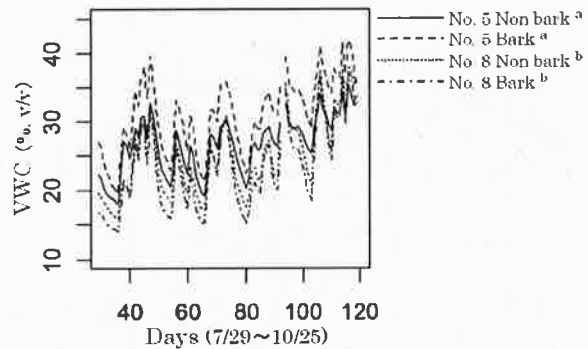


図-2 各プロットにおける表層 5 cm の日平均体積含水率(VWC)

表-1 土壌の軟らか度に対する、バーク堆肥鋤き込みの有無、植栽エリアおよび土壌深度の影響

| | Df | Sum sq | Mean sq | Fvalue | Pvalue |
|-------------------|-----|--------|---------|--------|--------|
| Bark | 1 | 1.55 | 1.55 | 11.88 | 0.001 |
| Area | 1 | 6.04 | 6.04 | 46.26 | 0.000 |
| Belowground depth | 1 | 8.32 | 8.32 | 63.77 | 0.000 |
| Residuals | 140 | 18.27 | 0.13 | | |

表-2 体積含水率に対する時間(Time)、植栽エリア(Area)、バーク全面鋤き込みの有無(Treatment)

| | Df | Fvalue | Pvalue |
|-----------|----|--------|--------|
| Time | 1 | 288.65 | 0.000 |
| Area | 1 | 22.58 | 0.000 |
| Treatment | 1 | 1.05 | 0.307 |

(2) バーク堆肥鋤き込み有無による植栽ブナ稚樹の生育状態の違い

2008 年に約 30 cm で植栽されたブナ稚樹は、調査を実施した 2013 年には樹高が平均 41~52 cm までに達しており、当年枝伸長も平均 15~18 cm 伸びた(表-3)。稚樹高と当年枝伸長

に対する二元配置分散分析の結果、バーク全面鋤き込みの有無と植栽エリアの有意な影響は検出されなかった(表-3)。また、その他のブナ生育状態は、SPAD 値:24~31、個葉面積:13.3~21.2 cm²、最大光合成速度:5.78~7.83 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の値を示した(表-3)。統計解析の結果、SPAD 値、個葉面積と最大光合成速度に対してバーク鋤き込みによる有意な影響は検出されなかった(表-3)。しかし、個葉面積と最大光合成速度に対してのみ植栽エリアの影響が有意に検出された(表-3)。

表-3 植栽エリアとバーク堆肥全面鋤込による、稚樹高、当年枝伸長、SPAD 値、個葉面積、最大光合成速度(Amax)の平均値(\pm 標準偏差)

| Area, Treatment | Tree height (cm) | | Annual shoot growth (cm) | | SPAD | | Leaf area (cm ²) | | Amax ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$) | |
|-----------------------|------------------|----------|--------------------------|----------|----------------|----------|------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|
| | Mean \pm SD | | Mean \pm SD | | Mean \pm SD | | Mean \pm SD | | Mean \pm SD | |
| No.5, Bark | 45.4 \pm 19.5 | | 15.5 \pm 5.8 | | 31.1 \pm 6.6 | | 21.2 \pm 8.9 | | 7.8 \pm 1.1 | |
| No.5, Non bark | 52.1 \pm 11.1 | | 18.2 \pm 7.8 | | 29.9 \pm 6.3 | | 16.6 \pm 5.5 | | 6.9 \pm 1.7 | |
| No.8, Bark | 41.4 \pm 20.0 | | 15.3 \pm 8.9 | | 28.0 \pm 3.1 | | 13.3 \pm 3.3 | | 6.3 \pm 0.9 | |
| No.8, Non bark | 48.6 \pm 15.8 | | 15.2 \pm 7.7 | | 24.7 \pm 5.4 | | 14.3 \pm 2.8 | | 5.8 \pm 2.2 | |
| Explanatory variables | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> | <i>F</i> | <i>P</i> |
| Area | 0.65 | 0.43 | 0.62 | 0.44 | 0.84 | 0.37 | 5.71 | 0.02 | 4.38 | 0.05 |
| Treatment | 2.81 | 0.10 | 0.17 | 0.69 | 3.11 | 0.09 | 0.53 | 0.47 | 1.93 | 0.18 |

4. 考察

(1) バーク全面鋤き込みの有無によるブナ稚樹の生育環境の違い

土壌硬度は、軟らか度が 1.5 cm/drop 以上であると樹木の根系発達に阻害がないとされる(日本造園学会 2000)。全処理区において、バーク全面鋤き込みの有無に関わらず、表層 10 cm までは基準以上の値を示した。そのため、バーク全面鋤き込みの有無による軟らか度の明瞭な改善効果は認められなかった。また、先行研究として、バーク堆肥を 3 L/株(1.5 kg/株)、6 L/株(3.0 kg/株)、9 L/株(4.5 kg/株)の 3 段階で施用し、2 年生のコナラ苗木を育成すると、6 L/株(3.0 kg/株)で樹高の相対成長率が最も高くなるとの報告がある(高砂・高山 2011)。さらに、5 年生の中晩生カンキツを用いて、バーク堆肥量 50 t/ha 換算で 60 L ポットに施肥した場合には、固相率を減少させ、気相率を増加させた(杉山ら 2006)との報告もある。これらと比べ、本研究ではバーク鋤き込み量がやや少なかったため、明瞭な改善効果が認められなかった可能性がある。

土壌水分において、未熟土にバーク堆肥を施用すると土壌の保水性向上が期待されるとの報告がある(高砂・高山 2011)。しかし、本研究では、バーク鋤き込みによる含水率の改善効果は認められなかった。その要因として、植栽エリアによる元々の保水力の差が影響したと推察する。

(2) バーク全面鋤き込みの有無によるブナ稚樹の生育状態の違い

ブナ稚樹の生育状態に対して、バーク全面鋤き込みによる有意な影響は検出されなかった。苗畑で 3 年間育成した 37 家系のブナ稚樹の平均樹高は、32.8~66.5 cm との報告がある(高橋ら 2001)。また、植林後に下刈りを行い、誤伐被害のない 6 成長期のブナ平均樹高は 172 \pm 52 cm、平均の当年伸長量は 32 \pm 16 cm である(前田 2003)という報告もある。本研究では、バーク全面鋤き込みの有無に関わらず、植栽 5 年目でブナ稚樹高は 40 cm 以上、当年枝伸長は 15 cm 以上とそれぞれ成長した。苗畑で育苗したものに比べ、稚樹高や当年枝伸長の成長

率は低いものの、バーク全面鋤き込みの有無に関わらず確実に成長していた。また、何も遮るものがない夏場の苗畑における2年生ブナ稚樹の最大光合成速度は、 $6.67 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ であった(Fernando et al. 2002)。それと比較すると、本研究でのブナ稚樹の最大光合成速度($5.78 \sim 7.83 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)は、同程度の値を示していた。

以上より、ブナ生育状態(稚樹高、当年枝伸長、最大光合成速度は、バーク全面鋤き込みの有無に関わらず、おおむね良好な値を示した。バーク全面鋤き込みを行うには、費用は約120万/ha、施業日数は約2日/haが余計にかかる(秋田県 未発表)。そのため、土壌環境によっては、植栽木の根元への施用のみで、バーク全面鋤き込みを省略することが可能であることが示唆された。

引用文献

秋田県 (2011) 森吉山麓高原自然再生事業実施計画書。

Fernando, V., José, M., Ismael, A., Luis, B., Pierre, D., Esteban, M and Erwin, D. (2002) The greater seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity, *Trees*, 16(6):395-403.

藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎. (2010). 土壌肥料用語辞典 第2版. 社団法人 農村漁村文化協会.

前田雄一. (2003). 植林後 6 成長期を経過したブナの残存と誤伐被害. *森林応用研究*, 12: 65-68.

Nakashizuka, T. (1984) Regeneration process of climax beech (*Fagus crenata* Blume) forests, IV: Gap formation, *Japanese journal of ecology*, 34(1):75-85.

杉田久志・金指達郎・正木隆 (2006) ブナ皆伐母樹保残法施業試験地における33年後、54年後の更新状況-東北地方の落葉低木林床ブナ林における事例, *日本森林学会誌*, 88(6):456-464.

(社)日本造園学会 緑化環境工学研究委員会 (2000) 緑化事業における植栽基盤整備マニュアル, *ランドスケープ研究*, 63(3):224-241.

高橋誠・向田稔・川野耕蔵・川村忠士 (2001) ブナ自然交配家計 37 家系における初期生長の家系間変異, *東北森林科学会誌*, 6(1):1-6.

高砂裕之・高山晴夫 (2011) 造成地における未熟土の性状とバーク堆肥施用が土壌改良および4樹種の苗木の初期成長に与える効果, 37(1): 114-119.

Yamamoto, K. (1998) A simple method for evaluating fine-scale variation of chlorophyll concentration within a leaf, *University Forest, Faculty of Agriculture, Niigata University*, 31:41-48.