

速報

造成地土壌の物理・化学性^{*1}佐々木重行^{*2}

I. はじめに

森林土壌は、樹木の生育の場所としてだけでなく、水源かん養や水質形成などの公益機能発揮の場としても重要である。近年の県民・国民の森林への期待は、木材生産よりも公益機能へと大きく変わってきた。木材需要の低迷から来る林業経営への意欲の減退は森林の荒廃をもたらし、その結果森林土壌の機能低下をもたらすと考えられる。このような背景の中、森林土壌の果たす役割と重要性および、その維持について都市住民・県民の理解を求めることは重要である。一方、一旦、破壊された土壌が新しくA層を形成し、新しく土壌を生成するためには多くの時間を必要とする。しかし、土壌化初期の物理性・化学性の調査研究は少ない。このような中、造成地における造成初期の土壌の物理・化学性を明らかにすることは、土壌生成の過程を明らかにすると共に、造成地の維持管理指針作成の際、重要な資料を得ることができる。そこで、本研究では造成初期の造成地土壌の物理・化学性および、植栽樹種の違いについて検討した。また、養分循環において閉鎖系といわれる窒素（堤，1987）の集積と供給についても若干の検討を行った。

II. 調査地の概要及び分析方法

調査地は、福岡県森林林業技術センター内の実験林に設定した。実験林の造成は、近辺の山土を削り取り、ダンプカーで搬入したものをそのまま重機で均して盛り土を行い、1994年春に完了した。造成にあたっては、土壌の粒径をそろえるなどの操作は行わなかった。樹木の植栽は1995年春に1 m間隔で、傾斜方向に縦15列、横7列で行った。調査した林分はツブラジイ、センダン、ユリノキ、ヤマザクラ、ケヤキ、クヌギ、スギである。クヌギを除いて、同じ区画の同一斜面に横に並列して設定してある。クヌギについては50mほど離れた区画で、1995年に1 m間隔で植栽した実験林で行った。全ての樹種で、1996年春から毎年窒素換算で約15gm⁻² (150kgha⁻¹)の施肥を行った。2001年春における調査林分の状態を表-1に示す。土壌断面調査および土壌試料の採取は樹幹流の影響がないように、樹幹の中間地点に試孔点を設け、2001年夏に行った。調査した項目は、深さ1 mまでの断面調査

表-1. 各林分の平均根元直径、胸高直径、樹高

	ケヤキ	センダン	ユリノキ	ヤマザクラ	クヌギ	ツブラジイ	スギ
根元直径(cm)	7.9	11.1	7.9	4.5	7.9	5.8	12.2
胸高直径(cm)	5.2	8.8	5.8	3.1	6.5	4.5	9.5
樹高(m)	4.1	8.2	6.3	3.6	6.7	5.2	5.3

と山中式硬度計による土壌硬度、100cc採土円筒による土壌pF水分曲線、水による土壌pH、窒素及び炭素含量である。土壌円筒は深さ0～5 cm, 15～25cm, 35～45cm, 65～75cmの範囲で、化学分析用の土壌は、深さ0～5 cm, 5～10cm, 15～25cm, 45～55cm, 65～75cmの範囲でそれぞれ採取した。土壌pF水分曲線は、pF1.7までは土柱法で、pF2.0～pF3.2までは土壌pF測定器で求めた。土壌pHはガラス電極法で、窒素、炭素含量については、CNコーダー（ヤナコMT-700）で分析し求めた。なお、土壌の粗孔隙、細孔隙率、窒素、炭素については、1998年にも同一区画内にあるヒノキ林横で100cc円筒による土壌pF水分曲線や窒素、炭素含有率の分析を行った。

III. 結果および考察

断面調査した土壌は、まだA層は見られず、B層のみであった。的場ら（1995）が建設後17～18年を経過したライシメーターで調査したA層の厚さは1 cm程度と報告しており、造成後6年程度ではA層はまだ生成されないと考えられた。構造は特に発達していなかったが、いずれの樹種でも、土壌表面に薄くではあるが粒状の構造がパッチ状に認められた。土性は粘土質を多く含んでおり、C～CLであった。表層（0～2 cm程度）の土色はいずれも7.5YRあるいは10YRの4/4か3/4の褐であった。以下土壌が深くなるに従って明るくなり、クヌギを除いて50～60cm以下では褐ではあるが7.5YRあるいは10YRの4/6, 5/6となった。クヌギの表層以下は2.5Y 4/3の暗オリーブ褐と2.5Y 3/3のオリーブ褐であった。クヌギの調査地は別の区画であり、造成に用いられた母材が異なっていたため、土色に違いが現れたと考えられた。いずれの樹種でも根の量は少なかったが、下草の影響からか表層で相対的に多かった。深さ80cm程度までは樹木の根の進入が見られたが、多くは30cm程度までであった。

*1 Sasaki, S.: Physical and chemical properties of soil in manmade-land

*2 福岡県森林林業技術センター Fukuoka Pref. For. Res. and Ext. Ctr., Kurume, Fukuoka 839-0827

各樹種の深さ90cmまでの土壌硬度を図-1に示す。土壌硬度は土壌表面では10~15mmであった。一般的な森林土壌の表層では10mm以下と考えられ、森林土壌に比較して本実験林の土壌は硬いといえた。スギを除いた6樹種では、深さ20~40cm付近までは土壌が深くなるにつれて土壌硬度は高くなり、20mm以上の硬度を示した。特に、ケヤキ、ユリノキ、クスギでは25mm前後の硬い値を示した。それ以下では深くなるにつれて土壌硬度が低くなっていった。この実験林を造成する際、重機による転圧が行われたため、当初土壌表層ほど硬かったが、植栽した樹木と下層植生の根の進入により深さ20~40cm以上では、表層ほど土壌硬度が低くなったと考えられた。スギでは、深さ20cm以下では22~23mmとほぼ一定となったが、この原因は不明であった。

次に、土壌pF-水分曲線から求めた粗孔隙、細孔隙の孔隙率を深さ別、樹種別に図-2に示す。0~5cmでは、ヤマザクラの孔隙率をもっとも高く54%で、以下センダン、ケヤキと続き、クスギが46%と最も低かった。粗孔隙率は14~21%であった。1998年の全孔隙率は44%であったので、全孔隙率は若干増加していた。粗孔隙率は1998年には17%であったので、増加していなかった。15~25cmでは、1998年と比較して全孔隙率の増大は見られなかったが、粗孔隙率は1998年9%であったものが、センダン、ヤマザクラ、スギで約2倍にあたる20%前後を示していた。35~45cmとスギを除いた65~75cmでは、いずれも1998年と比較して大きな違いは見られなかった。スギの65~75cmでの粗孔隙率が5%と低かった原因は不明であった。

土壌の化学性について、樹種別の深さと土壌pHの関係を図-3に示す。表層での土壌pHは、ツブラジイ、ユリノキが5.36、5.34と高く、クスギ、ケヤキでは5.07、5.04と中間の値を示し、ヤマザクラ、スギ、センダンで4.84、4.84、4.70と低い値を示した。前年測定した樹間表層の土壌pHもユリノキで6.15と他の樹種より高い値を示していた(佐々木, 2001)。ユリノキの表層での土壌pHが高かったのは、林内雨による陽イオンの供給量が多かったこと(佐々木, 1999)も影響があったと考えられた。土壌pHの深さでの変化はツブラジイ、ユリノキを除いて表層で低く、深くなるほど高くなる傾向を示した。ツブラジイ、ユリノ

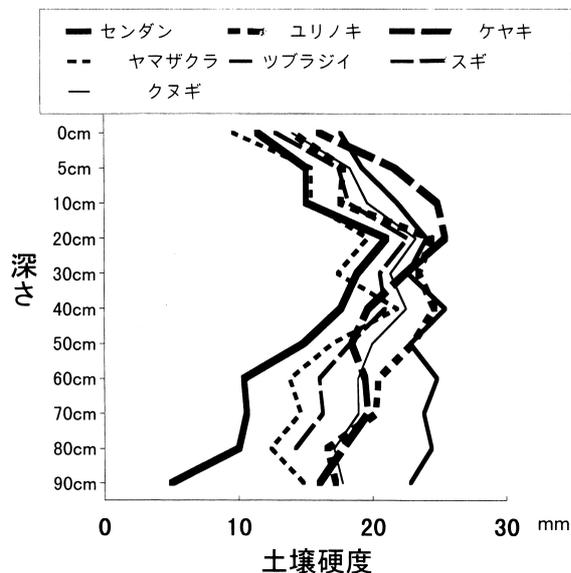


図-1. 山中式土壌硬度計による土壌硬度の分布

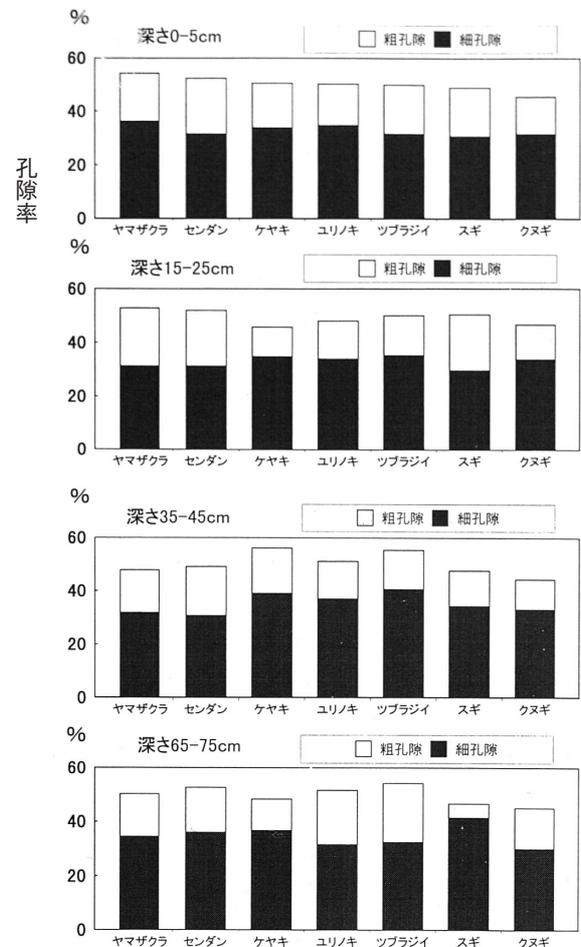


図-2. 土壌の粗孔隙率と細孔隙率

キはこれらとは逆に表層が土壌pHは高かった。一般的に表層では有機物の供給があり、分解過程で有機酸が生成されるために土壌pHは低くなるとされる(河田, 1989)。この実験林でも、表-1に示したように、各樹種は3~6mの樹高に生長しており、落葉等により有機物の供給があったと考えられる。しかし、まだ造成初期の段階で落葉量も少なく、有機物の量が十分でなく土壌の深い部分まで浸透していない。このため、土壌pHは表層で低くなり、下層へ行くほど高くなったと考えられた。これとは反対に、ユリノキの表層では、有機物の分解による有機酸の影響より、林内雨により多量に供給された陽イオンの影響が大きかったと考えられた。

各樹種の土壌中の窒素、炭素の含有率を表-2, 3に示す。深さ0~5cmの窒素含有率は0.14~0.26%であった。深さ5~10cmの窒素含有率は0.07~0.17%と、0~5cmより低くなった。深さ15cm以下での窒素含有率はクスギを除いて0.04~0.08%で、深さ10cm以上の窒素含有率の1/2以下であった。クスギの土壌表層と15cm以下での窒素含有率の差は小さかった。本造成地での土壌窒素含有率は、表層から15cmまでは深さに伴って低くなり、その後はほぼ一定の含有率となった。森林土壌におけるA層、B層の窒素含有率はそれぞれ0.3~1.0%、0.1~0.5%であるとされ(河田, 1989)、窒素含有率からもこの造成地の土壌表層では、A層はまだ生成されていず、B層にとどまっていると考えられた。炭素含有率は深さ0~5cmでは1.27~2.92%、深さ5

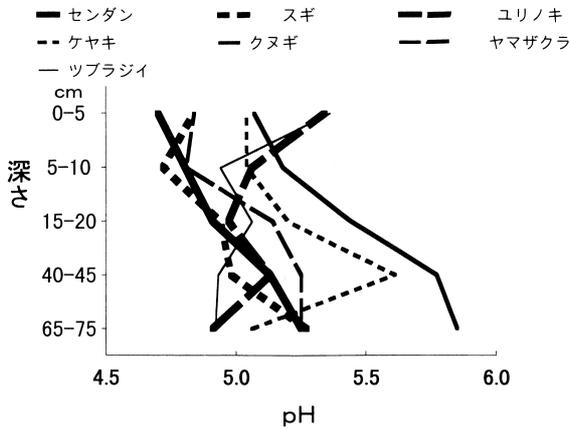


図-3. 樹種別、深さ別の土壌 pH

～10cmでは0.67～1.99%，深さ15～20cmでは0.29～1.10%，それ以下では0.18～0.94%となり，土壌が深くなるほど，炭素含有率は低くなった。河田（1989）による森林土壌の炭素含有率はA層で4～15%程度，B層で1～6%としている。窒素の場合と同様に，炭素含有率からも本造成地でA層は生成されていず，B層のままであると考えられた。しかし，1998年に同一区画内のヒノキ林横の植生が無い所で採取した深さ0～5cm及び15～20cmの土壌の窒素含有率はそれぞれ0.06%，0.05%，炭素含有率は0.60%，0.31%であった。この値と比較して，本造成地では深さ10cm付近までは窒素，炭素の増加が認められ，A層は生成されていないものの，土壌表層から徐々に土壌中の有機物の集積を増加させて，土壌化が進行していることがうかがわれた。しかし，深さ15cm以下では，土壌中の窒素，炭素含有率がほぼ一定であることや，1998年の値と差が見られなかったことから，造成当初と比べて変化が無かったと考えられた。

このように土壌表層で有機物の集積が増加している中から，養分循環上閉鎖系といわれている窒素の供給と集積について，含有率が増加した深さ10cmまでの土壌について検討した。堤（1987）によると，森林への窒素の供給は，降水，降下煤塵，微生物によるN窒素固定と人為による施肥があるとしている。これらは樹体や土壌に集積される。その間，窒素は水と共に流出するもの，一部ガス化して大気に返るものがあるとされるが，今回は水あるいはガス化による系外への流出は測定していないので，供給と集積について計算を行った。窒素供給量の算出に当たっては，林内雨を林外雨と乾性降下物が合わさったものと考え1998年に測定した林内雨の林地への供給量の値（佐々木，1999）を参考にして，全樹種での林内雨による供給量は $2 \text{ gm}^{-2}\text{年}^{-1} \times 6 \text{ 年} = 12 \text{ gm}^{-2}$ と仮定した。施肥による供給量は $15 \text{ gm}^{-2}\text{年}^{-1} \times 6 \text{ 年} = 90 \text{ gm}^{-2}$ とした。土壌中の窒素集積量の計算にあたっては，1998年の深さ0～5cm及び15～20cmの土壌中の窒素含有率と2001年の深さ15cm以下の土壌中の窒素含有率には大きな違いがなかったことから，これらの土壌は造成当時の窒素含有率と同じであると仮定した。そこで2001年の窒素含量から1998年の窒素含量を差し引いた値を造成時からの窒素含有率の増加と考え，これに容積重を乗じ，表層10cmまでの 1 m^2 当たりの集積量を求めた。容積重は $1.01 \sim$

1.43 gm l^{-1} の範囲にあった。樹木の窒素集積量は，西尾（1980）が緑化木の樹高と窒素集積量の関係性を求めた図を用い，平均樹高から推定した。植栽密度が 1 本 m^{-2} であるため，これから得られた数値を 1 m^2 当たりの樹木の窒素集積量とした。このようにして求めた土壌中，樹体内の窒素集積量と林内雨，および施肥による供給量を図-4に示す。樹木と土壌を含めた窒素の全集積量は $554 \sim 153 \text{ gm}^{-2}$ で樹種によって3.6倍の差があった。窒素の全集積量が多かったのはセンダン，クヌギ，ユリノキ，スギ，ツブラジイ，ケヤキ，ヤマザクラの順であった。窒素の全集積量の内，土壌の集積が占める割合は32～71%で，集積量は $181 \sim 101 \text{ gm}^{-2}$ であり，樹種間の差は約1.8倍であった。このように，土壌による集積量の差が樹種間で少ないことから，窒素の全集積の樹種による違いは，樹体の大きさによって影響を受けたと考えられた。一方，供給量に対する全集積量の差として求めた窒素の不足量は $452 \sim 51 \text{ gm}^{-2}$ で，全集積が多かった順で不足量も多かった。窒素の不足量は供給量の4.5～0.5倍と大きい。窒素の供給源として窒素固定菌による供給が考えられる。マメ科植物やハンノキ属に共生する窒素固定菌は固定能が高く $100 \text{ kgha}^{-1}\text{年}^{-1}$ ($10 \text{ gm}^{-2}\text{年}^{-1}$) のオーダであるが，非共生の固定菌の場合これより劣るとされる（堤，1987）。窒素固定能を $10 \text{ gm}^{-2}\text{年}^{-1}$ としても，ヤマザクラを除いて $5 \sim 65 \text{ gm}^{-2}\text{年}^{-1}$ もの多量の窒素の供給源が不明である。このことから，造成初期の林地での窒素の供給について，他に供給源が考えられない以上，窒素固定菌の固定能は従来考えられていたよりも大きいのではないかと推察された。

IV. まとめ

造成初期の土壌の物理・化学性を検討した。断面調査から土壌の表層での土色が若干暗くなっていることが認められた。孔隙や土壌硬度などの物理性は，余り変化が見られなかったが，表層での土壌 pH は低下し，窒素，炭素含有率は逆に増加しており，有機物の集積が進んでいることがうかがわれた。このことから，土壌化の初期では物理性よりも化学性が先に進行すると考えられた。また，窒素は供給量よりも，集積量のはるかに多く，窒素の供給について今後検討の余地があると考えられた。

今後は，造成後10年以上経過した人工造成地や崩壊地での調査を行い，土壌の生成初期の理・化学を明らかにし，造成地の管理指針の作成や土壌の生成の基礎資料収集を行う予定である。

V. 引用文献

- 河田 弘 (1989) 土壌の反応。(森林土壌学. 399pp, 博友, 東京). 140-142.
 的場節子ほか (1995) 日林論 106: 215-216.
 西尾 敏 (1980) 福岡県林試時報 28: pp26.
 佐々木重行 (1999) 日林学術講 110: 595-596.
 佐々木重行 (2001) 日林九支研論 54: 153-154.
 堤 利夫 (1987) 窒素の循環。(森林の物質循環. 122pp, 東大出版会, 東京). 48-71.

表-2. 各樹種の土壌中の窒素含有率

深さ cm	センダン %	ケヤキ %	ヤマザクラ %	スギ %	ユリノキ %	ツブラジイ %	クヌギ %
0～5	0.26	0.23	0.20	0.18	0.16	0.19	0.14
5～10	0.10	0.07	0.08	0.17	0.11	0.07	0.13
15～20	0.08	0.07	0.04	0.08	0.08	0.07	0.13
40～50	0.07	0.04	0.02	0.07	0.05	0.08	0.10
65～75	0.04	0.07	0.04	0.05	0.07	0.08	0.11

表-3. 各樹種の土壌中の炭素含有率

深さ cm	センダン %	ケヤキ %	ヤマザクラ %	スギ %	ユリノキ %	ツブラジイ %	クヌギ %
0～5	2.92	2.85	2.10	1.82	1.67	2.24	1.27
5～10	1.99	0.44	0.73	1.59	1.00	0.67	1.22
15～20	0.61	0.45	0.29	0.53	0.56	0.58	1.10
40～50	0.41	0.17	0.19	0.49	0.38	0.60	0.89
65～75	0.18	0.33	0.29	0.32	0.39	0.70	0.94

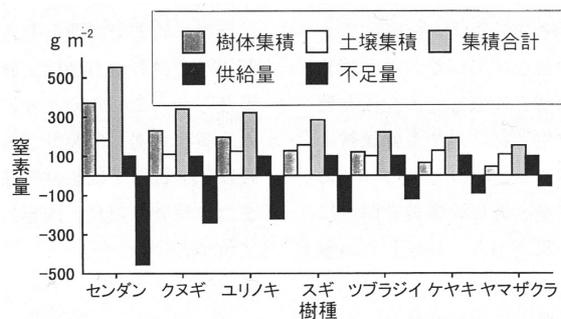


図-4. 窒素の収支バランス

(2001年12月4日 受理)