

間伐材，工場残廃材，樹皮等を原料とした 木炭粉の土壌改良資材としての利用（1）

- 主に道立農業試験場との共同研究成果から -

西 川 介 二

いまなぜ木炭から土壌改良資材なのか

木炭は、燃料以外にも、木炭の持つ多孔性を利用した環境浄化資材や土壌改良資材として見直され、その需要が再び増加しています。

昭和61年、地力増進法の一部改正に伴い、木炭の「土壌の透水性改善効果」が認められ、泥炭、ゼオライト等8種に加えて新たに土壌改良資材として指定されました。なお、木炭には公的に認められた透水性改善以外にも以下の効用が知られています。

通気性・保水性等の土壌物理性を改善する
カルシウム，カリウム，リンなどの養分を補給し，植物の生長を促進させる
土壌の酸性度（pH）を調整する
有用微生物の活性化を促進させる
過剰養分および農薬等を吸着し，肥料の持ちを良くする

近年，地球規模の環境問題に対する意識が高まる中，農業においても化学肥料や農薬を減らす栽培方法，土づくりに関心がもたれ，さらに，紙・パルプ産業が低迷していることもあって，間伐材，工場残廃材，樹皮等の有効利用法として農業，特に“土づくり”への利用が注目されています。

しかし，木炭の施用による作物や土壌に及ぼす影響は様々で，また用途別基準も明確でないために，各地で原料や炭化条件の異なる種々の木炭が使用マニュアルもないまま使用されています。

そこで，北海道内の木炭製造業界の協力を得ながら，林産試験場と道立農業試験場（中央農試・

十勝農試・北見農試・道南農試）が平成元年度から木炭の環境保全機能と土壌および作物生育に対する各種木炭資材の施用の影響を調査しましたので，一部木炭の現況と併せて成果を紹介します。

北海道においても土壌改良資材としての 木炭（木炭粉）供給量が大幅増

木炭（木炭粉）は土壌改良資材としての評価が高まりつつあります（表1）。不況により全般に供給量が減少する中，木炭粉はパーミキュライトと共に大幅に伸び，平成5年度は全国で12，101トン，前年比29.5%増を示しました。北海道におい

表1 政令指定土壌改良資材の効果と供給量（全国）

資 材	土壌への効果	供給量の伸び		
		平成3年	4年	5年
泥 炭	膨軟化，保水性の改善	100	114	72 (61, 213 t)
ゼオライト	保肥力の改善	100	102	90 (60, 320 t)
腐植酸質資材	保肥力の改善	100	107	104 (22, 731 t)
パーミキュライト	透水性の改善	100	114	141 (16, 359 t)
パーライト	保水性の改善	100	87	75 (12, 822 t)
木 炭	透水性の改善	100	113	146 (12, 101 t)

注）上記以外にベントナイト（水田の漏水防止 2，177t）、ポリエチレンイミン系資材（団粒形成促進 160t）、ポリビニルアルコール系資材（団粒形成促進 14t）が指定されています。供給量は平成3年を100とする。表の（ ）は平成5年度の供給量。

ても1,370トン、前年比69%増で全国より高い伸びを示しています。

表2に木炭粉と木炭の生産量(平成5年)および用途を示しましたが、木炭粉では土壌改良資材が主で83%(北海道)を示し、木炭では最近のグルメブームを反映して燃料としての需要が多くなっています。また、燃料以外の新用途木炭といわれる土壌改良資材用のほか、家屋床下・室内などの調湿用木炭、汚水・水処理用木炭、脱臭・消臭用木炭、野菜・花卉などの鮮度保持用木炭、家畜・魚類などの飼料・飼料用木炭などの供給も伸びています。

次に北海道において用いられている土壌改良資材用木炭としては、規格外の木炭や切炭するとき発生する木炭粉があります。また、連続炭化炉(流動層炉、スクリーユ炉)や平炉で製造される木炭粉もあります。原料としては樹皮(パーク)やチップダスト、この屑が利用され、中でもこの屑は大半を占めています。最近では輸入炭を粉砕機で粉砕して木炭粉製造を行っている業者もあります。

炭化条件は炭化炉により異なり、流動層炉では約400℃で30~40分間と炭化時間が短く、平炉では

370~400℃で6日間、ブロック炉(間伐材炭)ではA社が550℃(最高温度700℃)で2週間、B社では750~800℃で3日間、また土窯では400℃前後で炭化後約500℃(排煙部)で精錬を行い、2週間要して炭化しています。

木炭粉の製炭業者は、木炭粉の生産を目的とした比較的大きな事業者は5件、製炭に伴う副産物として生産する兼業形態にあるものは31件あり、前年比8件増加しています(平成5年)。

製品は木炭粉単体(写真1)以外に、木酢液、有機物(ビートモス、腐植りん等)、また化成肥



写真1 道内で流通している土壌改良資材用木炭粉

表2 木炭粉および木炭の生産量と用途(平成5年)

北海道		全国	
木炭粉	2,244 t (全国比 5.9%)	木炭粉	37,933 t
農業用(土壌改良資材)	74.4%	農業用(土壌改良資材)	54.1%
ゴルフ場用(")	8.6	ゴルフ場用(")	13.5
畜産用	6.2	調湿用	10.7
融雪材	5.1	畜産用	3.4
建築調湿資材	2.2	緑化木用(土壌改良資材)	0.4
水質浄化	0.3	園芸用(")	0.5
その他	3.2	その他(水質・鮮度保持等)	17.4
木炭	4,696 t (全国比 13.5%)	木炭	34,729 t
黒炭(4,694 t)	白炭(2 t)	黒炭(28,152 t)	白炭(6,577 t)
燃料用	99.3%	燃料用	高級燃料
土壌改良資材用	0.7	工業用	鮮度保持材
(水質浄化用 0.02)		土壌改良資材	電磁波遮蔽
		混合飼料	電子化
		調湿・消臭・浄化資材	(イオン化)
		その他	

注) 木炭粉(全国)の用途別割合は平成4年度全国燃料協会資料による。

林産試だより1994年12月号

料等を混入し付加価値をつけた製品も出荷されています。なお、価格は40l詰め1袋(水分15~20%, 8~10kg)で1,200~1,600円、輸入炭を原料としたものは更に安く1,000円前後です。

道内主要土壌改良資材用木炭粉の品質

道内主要土壌改良資材用木炭粉(実用炉製)の品質を評価するため、林産試験場の製材工場から排出されるカラマツのこ屑を原料とし、外熱式小形回転炉(容量10l)および自然式炭化炉(容量50l)により製造した木炭粉の品質を対比させながら、17種の木炭粉の理化学性を調べました(表3, 4)。供試木炭粉の原料樹種で記載のないものはカラマツです。

なお、政令と、(社)全国燃料協会から、「土壌改良資材用木炭の品質表示基準」がでています。これは一般表示事項、原料、単位容積質量(容積重)、用途、施用方法について示したものです。また、

最近(社)燃料協会から新用途木炭の規格(案)として土壌改良資材用木炭は前記政令および環境庁「土壌の汚染に係わる環境基準」に適合したものとされ、精煉度、揮発分、灰分などの品質基準については示されていません。

木炭の理化学的性質は同一原料であっても炭化温度などにより相違します。しかし、一般には温度が高くなると炭化収率や揮発分が減少し、固定炭素が増加します。また、これに伴い木炭は細孔径が小さくなり、比表面積(内部表面積)は増加します。さらに炭化収率と木炭の理化学的性質は炭化到達温度以外にも炭化過程における昇温パターンや雰囲気ガスの影響を受けます。

自然式では測温部が燃焼に伴って離れるため、温度に対応する炭化収率は外熱式より低くなりました。実用炉木炭粉については収率は測定していませんが一般に22~26%程度です。この項には製品水分を記載しましたが、20%以下と考えてよい用途、施用方法について示したものです。また、

表3 実験炉および道内実用炉製木炭粉の理化学的性質

木炭粉種類	炭化収率 (%)	粒 度 32メッシュ 以下 (%)	揮発分 (%)	灰 分 (%)	比表面積 (m ² /g)	平均細孔 半 径 (Å)	有効水分量 pF1.5~2.7 (ml/100g)	最大容水量 (ml/100g)
原 料	(100)	43	84	0.4	1	63	66	475
300℃	59	73	59	0.2	1	82	20	366
400	37	75	30	0.2	1	127	84	423
500	30	80	16	0.3	272	12	123	479
600	28	86	8	0.3	378	10	146	444
800	25	80	4	0.4	—	—	128	422
自然式炭	8~39	—	7~34	0.5~1.3	9~442	11~16	26~170	218~484
	(水分%)							
流動炭化炭	5~31	54	29~32	3	2	93~105	95~127	477~511
平炉炭	22~31	16~54	22~31	6~10	7~126	12~33	105~113	266~300
”(トドマツ)	32	34	22	4	—	—	—	—
”(バーク)	18~24	31~48	15~28	6~26	4~75	16~32	52~91	161~221
スクリュウ炉炭	27	28	21	3	27	—	—	—
ブロック炉炭A	17~40	40~57	14~18	2~7	157~215	11~12	141~157	260
ブロック炉炭B	8	28~30	11~18	2	195~216	12~13	85~199	277~451
”(トドマツ材)	5	41	18	3	—	—	—	—
”(解体材)	9	42	21	3	121	14	218	478

注) 木炭粉300~800 は実験用外熱式回転炉により炭化保持1時間、自然式は容量50l炭化炉により300~700, 1時間(底部センサー保持時間)炭化、流動炭化炭~ブロック炉炭(解体材)は実用炭化炉による。なお、平炉炭(トドマツ)、スクリュウ炉炭、ブロック炉炭(トドマツ材、解体材)は1種から、それ以外は2~3種の木炭粉から求めた。

と思います。メーカーによって取り扱いやすさから30%で出荷しているところもあります。

粒度は土壌改良資材として0.5mm（32メッシュ）以上，最近では1mm（16メッシュ）以上2～3mmが望ましいともいわれています。炭化温度が高くと細くなる傾向がありますが，実験炉炭は原料自体細かいため，32メッシュ以下の一部を除去して炭化しましたが，それでも32メッシュ以下が73%以上となりました。この粒度の割合は実用炉炭では平均41%で，30%以下のものと50%以上のものがそれぞれ3種みられました。

次に**揮発分**からもある程度の炭化度合いが分かります。流動層炉のこ屑炭（以下流動炭化炭）では揮発分は30%と多く，次いで平炉炭は25%，スクリュウ炉のこ屑炭（以下スクリュウ炉炭）では21%，最も揮発分が少なく炭化度の高いブロック炉間伐材炭（以下ブロック炉炭）は16%でした。特に平炉炭では揮発分の変動が大きくなりました。

灰分については実験炉炭で0.2～1.3%を示したのに対し，実用炉炭では高くなり2～26%を示し

ました。これは原料の影響が大きく，この屑炭では2～10%に対し，樹皮炭では6～26%と高い値を示しました。

次に木炭粉の**比表面積**（内部表面積）についてですが，回転炉炭では400以下の低温では1m²/gと原料と大差がなく，400～500で顕著に増加し，500～600では270～380m²/gを示しました。また，自然式では400で100m²/g，500～600では440m²/gと，回転炉炭よりも高いことから，炭化中に発炎現象が起こっていると考えられます。実用炉炭についても揮発分と同様，炭化度に比例して高くなりました。そして，流動炭化炭では2m²/g，平炉炭では4～130m²/g，ブロック炉炭では更に大きく160～220m²/gを示しました。

保水性についてみると易効性有効水（作物が比較的容易に吸収できるpF1.5～2.7範囲の水：表3）の場合，回転炉の炭化温度600では原料のこ屑の2倍，最大容水量では500が最大値を示しました。自然式炭も比表面積と同様に回転炉炭より若干高い容水量を示しました。実用炉炭では炭化度の高い

表4 実験炉および道内実用炉製木炭粉の理化学的性質

木炭粉種類	容積重	pH	電気伝導度 (EC) (μ S/cm)	陽イオン 交換容量 (CEC) (me/100g)	無機成分 (mg/100g)			
					CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅
原料	0.19	4.7	80	9				3
300℃	0.16	4.6	40	18	18	7	49	1
400	0.16	4.9	20	14	19	5	50	1
500	0.16	6.0	30	6	18	3	93	2
600	0.18	8.3	160	3	18	5	103	1
800	0.19	9.7	1,310	4	42	5	79	2
自然式炭	0.21～0.24	4.4～9.7	67～385	2～24	16～175	3～49	16～193	2～26
流動炭化炭	0.12～0.15	4.1～4.2	220～340	4～18	161～191	23	111～140	19～21
平炉炭	0.15～0.19	7.3～8.9	83～160	10～15	158～383	20～28	108～324	33～132
〃（トドマツ）	0.11	9.4	65	15	136	18	121	16
〃（パーク）	0.22～0.26	8.0～9.0	320～1,220	15～19	254～860	17～84	63～1,003	46～191
スクリュウ炉	0.16	8.6	—	—	—	—	—	—
ブロック炉炭A	0.18～0.26	8.0～8.9	90～189	5～18	119～178	19～40	79～339	40～221
ブロック炉炭B	0.13～0.16	8.5～8.7	114～230	1～6	103～159	12～16	93～225	5～21
〃（トドマツ材）	0.16	8.3	69	11	106	7	51	34
〃（解体材）	0.11	9.0	120	7	331	27	173	9

注) CaO, MgO, K₂Oは交換性陽イオン, P₂O₅は有効態りん酸

いブロック炉炭が易効性有効水も大きく保水効果が期待できます。

pHは回転炉の炭化温度300~400 では酸性を示しますが、600 以上ではpH8以上のアルカリ性を示しました。実用炉炭も炭化度の低い流動炭化炭が酸性を示しましたが、それ以外の木炭粉はほぼ8以上のアルカリ性を示しました。

CEC(陽イオン交換容量または塩基置換容量)は炭化温度が高くなるに伴って低下しました。500 以上の高温条件では特に小さくなる傾向があり、実用炉炭の中ではブロック炉炭Bおよび解体材炭が小さく、これらは肥料成分等の保持能力が小さくなくなると思われ、土壌中の大きな効果は期待されません。

無機成分についてはいずれの木炭粉も交換性カルシウム(石灰)含有量が高く、また、樹皮炭では石灰のほか、カリウム含量も著しく高く、かつ有効態りん酸も多く、他の木炭粉よりも高い傾向を示しました。

農地に対する木炭粉の利用

畑地等でも作物の生育に最適とはいえない土壌もあります。また耕作を続けるうちに収量が低下する場合もあります。そこで、施肥や土壌改良が

行われます。土壌の物理的・化学的性質の改良、また有用土壌微生物の活性を高めるために施用する資材が土壌改良資材です。

木炭粉施用により土壌の物理性を改善する

木炭粉の施用が土壌の物理性にどのように影響を及ぼしているかについて調べました。供試木炭粉は、流動炭化炭および平炉樹皮炭、また供試土壌は細粒質低地土、中粒質低地土、粗粒質淡色黒ボク土の3タイプです。無底ポットを用いて土壌と木炭粉を混合充てんして、4か月裸地条件で放置後、容積重、三相分布(固相、気相、液相)、またこれらから全孔隙、有効水分量(保水量)、透水係数について調べました。なお、木炭粉施用量は0, 0.5, 1, 2, 5%(10a当たりそれぞれ、0, 500, 1, 000, 2, 000, 5, 000kg施用に相当)としました。表5および図1に結果の一部を示しました。容積重、全孔隙、有効水分、透水係数に及ぼす要因は、土壌のタイプの影響が最も大きく、次いで木炭粉施用量、木炭粉種類でした。

全孔隙および透水係数について主効果のみの寄与率()は土壌タイプがそれぞれ88, 50%, 木炭粉施用量が9, 27%, また木炭粉種類は1, 10%を示しています。土壌別では粗粒質黒ボク土で小

表5 木炭粉施用が土壌(細・中・粗粒等)の透水性に及ぼす影響

木炭粉 施用量 (%)	細粒質低地土		中粒質低地土		粗粒質黒ボク土	
	流動炭化炭	平炉炭	流動炭化炭	平炉炭	流動炭化炭	平炉炭
無施用	8.2×10 ⁻⁶ (100)		8.3×10 ⁻⁴ (100)		1.4×10 ⁻³ (100)	
0.5	5.6×10 ⁻⁵ (683)	1.6×10 ⁻⁵ (195)	8.3×10 ⁻⁴ (100)	1.1×10 ⁻³ (133)	2.3×10 ⁻³ (164)	1.4×10 ⁻³ (100)
1.0	1.6×10 ⁻⁴ (1,951)	5.4×10 ⁻⁵ (659)	1.5×10 ⁻³ (181)	1.1×10 ⁻³ (133)	3.0×10 ⁻³ (214)	1.6×10 ⁻³ (114)
2.0	7.4×10 ⁻⁴ (9,024)	1.3×10 ⁻⁴ (1,589)	1.8×10 ⁻³ (217)	1.2×10 ⁻³ (145)	3.8×10 ⁻³ (271)	2.5×10 ⁻³ (179)
5.0	1.9×10 ⁻³ (23,171)	4.9×10 ⁻⁴ (5,976)	3.7×10 ⁻³ (446)	2.6×10 ⁻³ (313)	6.0×10 ⁻³ (429)	2.7×10 ⁻³ (193)

注)測定値は飽和透水係数 cm/秒で表示した。通常 10⁻³~10⁻⁴ が適正。
()は無施用を 100 とした指数、平炉炭の原料は樹皮。

さく, 細粒質低地土で高く, 木炭粉の種類別では施用量が同程度の場合平炉樹皮炭よりも流動炭化炭で高い効果が得られました。細粒質低地土(例えば水田を畑に転作した場合, 石狩川流域, 美唄等の粘土地)では, 流動炭化炭では1%, 平炉樹皮炭では2%施用することにより透水係数10 - 3 ~ 10 - 4 cm / 秒の適性値が得られます。また表5のかつこ内に改善率を示しました。一般に透水性は木炭粉5%施用で60%, 20%施用で150 ~ 230%程度増加するとされていますが, 本試験ではこれよりも高い増加率が示されました。

その他, 木炭粉施用によって容積重の低下, 気相率, 有効水分(作物が吸収可能な土壌水分)の向上もみられました。木炭粉の種類別では流動炭化炭が, 平炉樹皮炭より容積重が小さく, 有効水分, 透水性, 保水量が大きくなりました。

また, 木炭粉の粒度の影響は平炉樹皮炭について, 細粒質低地土では60 ~ 115メッシュ2%施用で無施用の2倍, 中粒質低地土では5 ~ 9メッシュ0.5%施用することにより無施用の4倍の値を得ました。

樹皮炭は土壌の化学性改善に効果がある

木炭粉の施用が土壌の化学性にどのように影響を及ぼしているかを検討しました。土壌の物理性の場合と同様に(ただし, 裸地放置期間は1か月), 供試土壌タイプ, 木炭粉種類, 木炭粉施用量について, pH, 有効態りん酸(土壌中に存在するりん酸の中で, 作物に利用されやすいもの), CEC, 交換性塩基等について検討しました。

化学性についても物理性の場合と同様にpH, CEC等に及ぼす要因の影響は土壌タイプが最も大きく, 次いで木炭粉施用量, 木炭粉種類でした。pH, 交換性(置換性)CaO(表6)についてみると, 土壌のタイプがそれぞれ寄与率95, 91%を示し, 木炭粉施用量がいずれも2%, 木炭粉種類が2, 4%でした。また, 木炭粉の種類では平炉樹皮炭が流動炭化炭に比較して有効態りん酸, 交換性CaOおよび交換性K2O含量が高まる傾向を示しましたが, これは供試木炭粉の原料の化学性が反映されたものと推定されます。

pHについてはpH8の平炉樹皮炭をpH6.43の土壌に5%施用してもpHは6.83を示し, 6%の向上

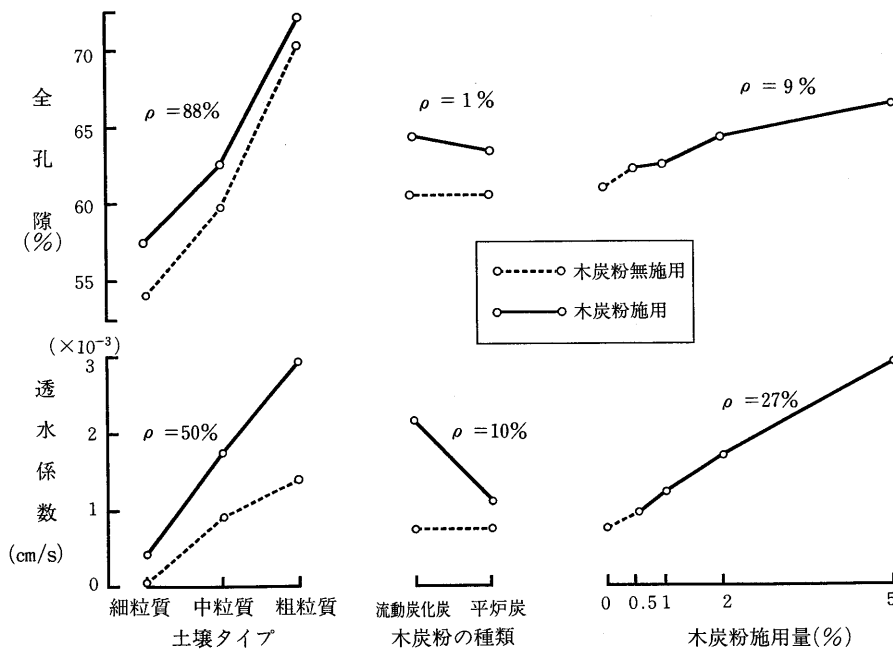


図1 木炭粉施用が土壌の全孔隙・透水性に及ぼす影響

程度でした。pH8の木炭粉をpH7程度にできないかという要望もありますが，土壤が作物の好適pHを超える場合においてのみpH調整の必要があり，土壤は木炭粉施用により，pH6.83になることから栽培には問題はないようです。

おわりに

木炭粉は多孔質で膨大な資材であるため，土壤の孔隙率を高め，容積重を小さくします。このため，土壤の通気性および透水性が改善され，また保水性も向上します。そして効果は木炭粉の施用量に比例して高まります。

木炭粉施用による物理性の改善効果は土壤のタイプおよび木炭粉の種類によって相違します。土壤別では粗粒質黒ボク土で小さく，細粒質低地土で高いことが認められました。また，木炭粉の種類別では施用量が同程度の場合平炉樹皮炭よりも流動炭化炭（のこ屑）で高い効果が認められました。

一方，化学性を考慮した場合には，樹皮炭のような無機成分の多いものが適当と思われます。

今回は，木炭粉施用が作物の収量に及ぼす影響について紹介するとともに，木炭粉の吸着力，木炭粉と土壤の微生物との関係についても紹介します。

参考資料

- 1) 道立相互共同研究報告書：木質系炭化物の農水産業への利用（平成元年～5年）
- 2) 共同研究木炭粉の農業資材としての特性（北海道農業試験会議資料 平成5年度）
- 3) 木材炭化成分多用途利用技術研究組合：木炭と木酢液の新用途開発研究成果集（1990.10）
- 4) 林野庁資料：平成5年特用林産関係資料
- 5) 北海道林務部林産振興課：平成5年度道内の木炭等の生産状況

（林産試験場 物性利用科）

表6 木炭粉施用が土壤の化学的性質（pH，交換性CaO）に及ぼす影響

測定項目	木炭粉施用量 (%)	細粒質低地土		中粒質低地土		粗粒質黒ボク土	
		流動炭化炭	平炉炭	流動炭化炭	平炉炭	流動炭化炭	平炉炭
pH	無施用	6.43 (100)	6.48	5.21 (100)	5.28	5.90 (100)	5.94
	0.5	6.43 (100)	6.48 (101)	5.25 (101)	5.28 (102)	5.93 (101)	5.94 (101)
	1.0	6.47 (101)	6.55 (102)	5.24 (101)	5.35 (103)	5.95 (101)	6.00 (102)
	2.0	6.46 (100)	6.65 (103)	5.28 (101)	5.47 (105)	5.96 (101)	6.04 (102)
	5.0	6.47 (100)	6.83 (106)	5.31 (102)	5.63 (108)	5.98 (101)	6.16 (104)
	交換性CaO (mg/100g)	無施用	265 (100)	269	186 (100)	190	141 (100)
0.5		262 (99)	269 (102)	186 (100)	190 (102)	141 (100)	145 (103)
1.0		262 (99)	267 (101)	186 (100)	194 (104)	136 (96)	147 (104)
2.0		258 (97)	287 (108)	186 (100)	204 (110)	136 (96)	156 (111)
5.0		257 (97)	303 (114)	185 (95)	233 (125)	144 (102)	190 (135)

注) ()は無施用を100とした指数