2007年12月21日　ケナフ協議会　東京大学　弥生講堂　講演要旨

木炭による酸性土壌の環境改善と二酸化炭素の削減について

足利工業大学附属高等学校電気科　　岩﨑 眞理
東京大学大学院農学生命科学研究科　空閑 重則

1. はじめに

化石燃料の大量消費により二酸化炭素[1A)]が増え続け,その結果地球は温暖化となり,また化石燃料に含まれている硫黄の燃焼により硫黄酸化物を生成する[2-4)]。硫黄酸化物の二酸化硫黄は還元力が強く接触しているものを破壊して酸素を奪い三酸化硫黄となり空気中の水分と結合して硫酸になる。硫酸は風で移動して接触したものに付着し,雲に溶解して酸性雨[1B)]となり降り注いでいる。また燃焼に伴い窒素酸化物も発生し硝酸となり,これも酸性雨の原因となっている。この酸性雨は土壌を酸性化し,土壌中の固定されたアルミニュウムや鉄を溶解性の化合物として溶け出す。樹木はこれを水と共に吸収し,植物の成長に必須のリン酸と強力に結合する。鉄とアルミニウムのリン酸との化合物の溶解度は,$AlPO_4$：1.4×10^{-8}と $FePO_4$：1.4×10^{-9} (mg/dm^3)で,金属と結合したリン酸を植物は奪い返すことは出来ない。植物はリン酸が奪われ不足すると抵抗力を失い病虫害に対する防御機能が低下し枯死する。その事実は,枯死した松の木の切断面の変色で明かである。酸化第一鉄を含む土壌で溶解した硫酸第一鉄は水と共に吸収され,形成層の中の燐酸と結合してリン酸第一鉄となり,酸素に触れるとリン酸第二鉄となるとき暗青色に変化する。その変色は根元から先端近くまで均一であることで金属と形成層の中のリン酸が結合していることが明かである[4)]。酸性雨の中和にはアルカリ性物質を用いるが,石灰などで中和すると硫酸カルシウムが析出し,一般に石膏と呼ばれ土壌を硬くする性質がある。酸性土壌の中和には塩の析出の少ないことが必要である。これに適したものは太古より使われている木炭が一番有効である。木炭は,樹木の生長に必要なカリウムやカルシウム等を含み,炭に焼くことにより,炭酸化合物や酸化物となり,雨水などに溶けアルカリ溶液になり酸性土壌を中和し,かつ,残った金属イオンは,ふたたび,植物の栄養になる優れた物質である[4)]。また,植物は二酸化炭素を吸収して生長するので,植物を炭にすることは,炭は燃焼しない限り自然界では二酸化炭素にはならないので二酸化炭素の削減となり地球温暖化防止の対策として,最も他のエネルギーを使用しない方法である。成長の早い植物や樹木を植林して森林を増やし,間伐材や廃材を炭にすることは地球環境の改善にとって最も有効である。立ち枯れを放置し,廃材を焼却処分することは二酸化炭素を再び放出することになる。日本各地で見られるマツ枯れの根本の原因は,葉も樹皮も広葉樹に比較して表面積が大きく,常緑樹で,風で全身に塗り重ねられた硫黄酸化物は濃縮と蓄積で濃度が高くなり,次の雨で根元に洗い落とされ,土壌を酸性化する。その傷害は全身におよび,マツは衰退し,マツ樹脂が出なくなるため幹を害虫に食い荒らされて枯死すると考えられる。立ち枯れ地区と健全なマツの当年発芽の枝の切り口から流出するマツ樹脂の量の差から明かである[4)]。

2. 炭焼について

一般に日本で古来より使われている木炭[5A)]はクヌギやナラとカシであるが,近年は海外から輸入された安価なマングローブ炭や中国木炭が多く見られる。木炭は木材等に高温の空気を当てることにより最初は水分や揮発性の物質が炭材の中から蒸発し,次にフェノールやヘミセルロースやリグニン(400℃程度)などが燃焼や熱化学反応をしながら木材の中から出て行く。そして残ったものが炭であり,最も多い成分は90%前後の炭素で,残りの成分は炭酸化合物や酸化物等である。日本では炭焼きの温度により二つに分類される。炭化温度は800℃以下で,平均約650℃で焼いた炭を黒炭[5C)]とし,800℃以上で焼いた炭を白炭と言われている。一般のクヌギやナラ炭は殆どのものが黒炭であり,800℃以上で焼いた備長炭(カシの木の木炭)に代表される炭が白炭と呼ばれる。白炭は炭化終了後すぐに窯から取り出して灰の中で急冷され,取り出したときに炭の色が灰により白く見えるために白炭と呼ばれる。茶の湯で使われるクヌギ炭にも白炭がある。炭の燃焼は表面燃焼であり,燃焼の速度,空気の供給量で変化する。空気の供給量が多くなるにつれて燃焼は速くなり,火の色も白熱となり,高温となる。木炭の燃焼には原木の木材組織と,その時に出てくる灰が燃焼に深い影響を与えている。灰の組成[5)]はナトリウム，カリウム,マグネシュウム，カルシュウム,アルミニュウム,マンガン，鉄,ケイ素,リン,硫黄等が炭酸化合物や酸化物として生成する。

3. 炭焼き窯の種類と構造と炭化時間

図 1 の伏せ焼き窯は古代から使用され[5A)], 山の斜面を利用して簡単に作ることが出来るが炭化温度が低く, 炭化時間は着火から消火まで 10～20 時間を要す。一般に炭焼き施設で見られる図 2 の三浦式標準窯[5B)]は約 100 時間である。図 3 の備長炭窯[5E)]は炭化時間が最長で一週間程かかる。図 4 の簡易ドラム缶窯は約 10 時間で 8Kg の炭ができる。図 8 は乾燥した花やマツボックリなど小さいものをお茶筒や一斗缶に入れて焚き火の熱により蒸し焼きにして炭化させる簡易方法で, 炭化は 1 時間以内である。図 5 の工業用平炉は大量の炭材を炭化させることが出き, 最大のものは炭化炉の幅 3m 高さ 3m 長さが 10m を超えるものがある。図 6 のロータリーキルン炉は連続炭化が出来る。その他として遥動式炭化炉[6)]がある。図 7 の岩崎式炭焼き窯は乾燥した竹材の炭化時間は 3 時間以内, 木炭でも 5 時間以内でできる。それぞれの構造は, 図 1, 2, 3 は石を積み上げその隙間を粘土で塞ぎ周囲に土を盛って断熱して使用される。図 1 から図 4 の伏せ焼き窯, 三浦式標準窯, 備長炭窯, 簡易ドラム缶窯[6-7)]は直接窯で窯内部に詰めた炭材の入り口側の 3 分の 1 の炭材を燃やし, その燃焼熱により残りの炭材を炭化させる。熱を効率よく使用するために炭焼きが終わって, 炭を出してから窯がさめないうちに次の炭材を挿入し, 炭焼きをする必要が有る。図 5、図 6 は熱源を作る場所と炭化部が分かれている間接炉であり最新式の技術により保温断熱が十分でき, また, 温度コントロールも出来る窯である。高温度の直接炭焼き窯の代表は図 3 の備長炭窯で最高温度は 1100℃以上になる。炭化温度の分類では低温窯は図 1 の伏せ焼き窯, 図 2 の三浦式標準窯, 図 3 の簡易ドラム缶窯, 図 5 の工業用平炉, 図 8 の花炭法は 800℃以下である。高温窯は図 4 の備長炭窯, 図 6 のロータリーキルン炉, 図 7 の岩崎式炭焼き窯では 800℃以上の高温炭が出来る。備長炭は JAS 法によりカシの木を 800℃以上で焼いた木炭のみを言う。

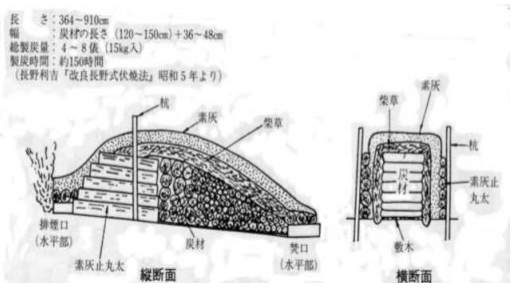

図 1 伏せ焼き窯(黒炭)
(出典:岸本定吉著「炭」創森社 pp. 120)

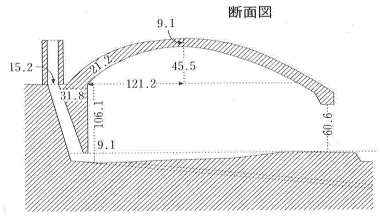

図 2 三浦式標準炭焼き窯(黒炭)

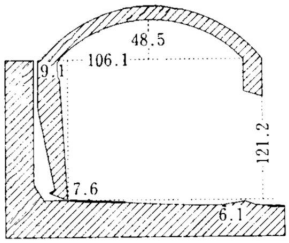

図 3　備長炭窯(白窯)

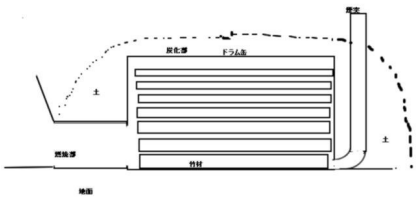

図 4　簡易ドラム缶(黒炭)

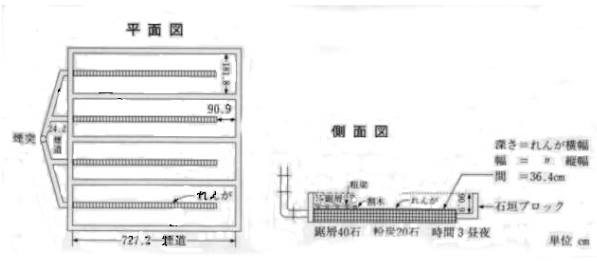

図 5．工業用炭化炉(平炉)

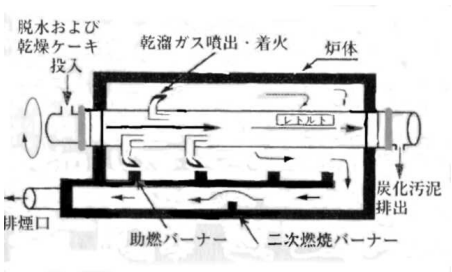

図 6　工業用炭化炉(ロータリーキルン)

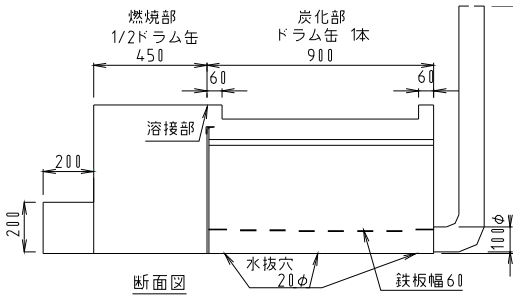

図7 岩崎式炭焼き窯の構造(単位 mm)

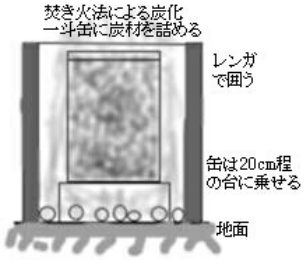

図8 焚き火法による炭化

4. 岩崎式炭焼き窯について

図7の岩崎式炭焼き窯[8-10]は山野や里山の荒れた竹林などの伐採後の処理法と酸性土壌の中和対策として開発された高速高温度炭化のドラム缶式炭焼き窯であるが低温炭から高温炭の全ての炭を作ることが出来る。炭撒きのボランティアの人々が朝から竹を切り,今までのドラム缶炭焼き窯や伏せ焼き焼き窯で出来た炭を酸性土壌に撒くまで,今まで10時間以上掛かかり全ての仕事をするためには一泊二日が必要であったものを半分以下に短縮させた。乾燥したタケ材で3時間程度,木材でも5時間程度で炭化が完了する高速の炭焼き窯である。その基本原理は燃焼熱の高温化と窯を地面や外気から高断熱をする事により可能になった。これは窯を地中に埋めないで軽量発泡コンクリート(ALC)の上に置き,周りもALCで囲み,窯との間に天然のセラミック材である鹿沼土を入れて高断熱した炭焼き窯である。この炭焼き窯は活性炭製造の為に改造を行い連続して1時間で1100℃の耐久性を持っている。これ以上の温度で使用するときは内部にセラミックブランケットを貼る必要が有る。最高温度はモウソウダケ炭焼き実験の1222℃である。今までの乾燥マダケの炭化の最速時間はJST(文科省科学技術振興機構)の番組（サイエンスバトル）撮影時に計測された1時間40分である。また内部に空隙の多いヒマワリ,トウモロコシ,ケナフなどの炭化にも使えるが,それらは誰でも簡単に短時間で炭化出来る図8の花炭法が適していると考えられる。

5. 炭の性質について

炭は木の成分により pH 値が異なっている。800℃に調整した電気炉と岩崎式炭焼き窯,花炭方法と黒炭窯で炭化させ,日本工業規格分析法(JISK1474(1991))準拠により pH 計測をおこなった。

表1　炭の pH 値

炭化温度	白炭(800℃以上)	電気炉(800℃)	黒炭(800℃以下)	花炭(800℃以下)
マダケ	8.62			
モウソウタケ	8.53			
ミズナラ		8.29	6.72	
スギ	8.29			
イチョウ		8.20		
クワ		8.96		
ヤナギ		8.06		
ケナフ	8.53	8.78		7.96

ケナフ提供
高知大学
鮫島 一彦
名誉教授

5. 酸性土壌の中和対策と二酸化炭素の減少

表1に示すように木炭の中のアルカリ成分の主なものはカリウムとカルシウムであり,木炭を土壌に撒き入れた時に周りの水分にカリウムが溶け出て酸性土壌を中和し,溶解度の低い炭酸カルシウムは,雨で溶けだした酸性物質と反応して中和する。樹木は二酸化炭素を吸収し水と地中から養分を吸収して,太陽の光で光合成して成長する。その植物を炭化することで二酸化炭素を固定できる。昔のように樹木を原料とする薪や炭を燃料とした場合は,樹木が吸収した二酸化炭素を排出するので,地球上の二酸化炭素の割合は変化しないが,化石燃料である石油,石炭、天然ガスを使

用した場合は,地中に埋蔵されていた物を掘りだして燃焼させるので,発生した二酸化炭素は地球上の二酸化炭素の割合を増加させる。

C=12　O=16　CO_2=12+16×2=44　CO_2÷C=44÷12≒3.66　式 1

式 1 より 1Kg の炭を酸性土壌の中和に使うと,3.66Kg の二酸化炭素の削減となる。

6.炭による二酸化炭固定と吸着力の利用および災害時の燃料としての活用

大量の炭の製造は,酸性土壌の中和[5D]の他に,建物の床下や天井に大量に入れる事により,断熱や湿度調整と建材からの揮発成分の吸着を行い,生活環境改善に有効である。夏期の湿度の低下は体感室温の低下につながり,断熱材としての働きにより冷房の電気代の節約,すなわち化石燃料の節約にもつながる。炭を燃料とした場合,その量に比例した化石燃料の使用量の削減になる。花やマツボックリや形の良い枝などを炭化させ飾り炭(花炭)として室内に飾ることにより,建材からの化学成分の吸収剤に成る。地震などの災害の時の簡易ボンベは耐用年数があるが,床下の炭は永久に燃料として使用できる。

写真 1 本校の総合学習での炭焼き教室

写真 2 千代田町里山クラブでの炭焼き教室

7.まとめ

成長の早い植物を増産したり,樹木を増やし間伐材や廃材を炭化させて炭とし,酸性土壌に撒いて中和することは土壌の酸性化で衰退して立ち枯れる樹木を救い,さらに,二酸化炭素の削減になり地球温暖化防止対策として永続的な循環型の最も有効な技術であると考えられる。床下に保存した炭は災害時の燃料として役立ち,室内に置いた花炭は心や身体を癒す。

謝辞

この文章を監修していただいた大森禎子博士に感謝します。

参考文献

1) 国立天文台編(2006),理科年表 第 2 版 環境編,丸善株式会社,A:pp28-31,B:pp94-109.
2) *Omori T.,Yoshiike Y.,Okamura S.,Sugiura M.,Hashimoto S.,and Iwasaki M.(2004) The 6 International Symposium on Plant-Soil Interractions at Low pH.S10-6*,p.18.
3) 大森禎子,岩崎眞理,吉池雄蔵,岡村　忍,(2005),地球惑星科学関連学会 2005 年合同大会,地球温暖化防止のための CO_2 固定とカーボンサイクル部門(CDROM).L093-001.
4) 大森禎子,吉池雄蔵,岡村　忍, 岩崎眞理,(2007),硫黄酸化物による立ち枯れと気候の変化,国際シンポジウム炭と微生物,Part２pp17-26.(愛・地球博 2005,国際シンポジウム炭と微生物実行委員会).
5) 岸本定吉(1998),炭,創森舎,A:pp.15-24,B:pp.120,C:pp.133,D:pp.328.
6) 木質炭化学会編(2007),炭・木竹酢液の用語辞典, 創森舎,pp.122.
7) 岸本定吉,杉浦銀冶,鶴見武道(2001),エコロジー炭焼き指南, 創森舎,pp.12-42.
8) 岩﨑眞理 (2006),第 4 回木質炭化学会発表会,講演要旨集(北見),pp.5-8.
9) 岩﨑眞理 (2007),木質炭化学会論文, 新形式炭焼き窯による炭化時間の短縮化,pp1-6.
10) 岩﨑眞理 (2007),第 5 回自然エネルギー利用セミナー講演要旨集(足利),pp.5-8.