

たかが木炭 されど木炭(1)

斉藤 勝

はじめに

最近、国民生活の高度化・多様化に伴い、きのこ類などの特用林産物の生産は年々拡大の傾向にあります。一方、同じ特用林産物である木炭は、家庭内から姿を消して久しく、今では木炭が特用林産物として取り扱われることさえ知る人も少ないようです。

今から数十年前には木炭は全国で年間約 220万トン生産され、そのうち、北海道は岩手県(17万トン)、福島県に続く 3位で、10万トン余りが生産されていました。当時は、飲食業や菓子製造から家庭での調理や暖房用まで幅広くの熱源として用いられていました。また、工業用としては金属けい素(メタリック・シリコン)用や二硫化炭素(ステーブル・ファイバーの溶剤)用の原料に使われたり、製鉄工業で触媒(還元剤)として木炭は大量に使われていました。

しかし、国内経済の高度成長により、家庭用、業務用木炭は電気、ガス、灯油に取って替わられました。また、工業の分野においても、産業構造の変革と相まって、海外の安価な木炭や亜炭、石炭、石油精製過程から出る残廃物の利用などにより木炭の需要は激減しました。

近年は特用林産物として統計に表わされる木炭の生産量は全国で 4万トン弱で、この内、道内では約 3千トンで推移しています。しかし、最近間伐材や廃材(のこくず、樹皮)の有効利用の一方方法として木材炭化が注目され、その生産量も増加傾向にあります。また、東南アジアからヤシやパンの実の殻、ゴムの木(廃木)などの炭化物の輸

入量も増えつつあります。

一方、木炭は古くから調理の熱源として使われ、最近特に遠赤外線量がほかの燃料に比べて多いということで人気を集めています。炭火は加熱効果が高く、石油やガスの燃焼時のように水(H_2O)が生じることもなく、うまみや香りを逃がさないといわれています。このことから、うなぎのかば焼きや焼き鳥、コーヒーやお茶の焙煎などにも用いられています。炭火調理で高級イメージ感が得られるのと相まって、趣味、嗜好的要素から需要は増えつつあります。

元来、木炭は原料である木材に比べて、軽量で無煙化されており、単位重量当たりの熱量は高く、黒くて腐らず、粉にしやすく、多孔質であることから大きな比表面積を持っています。このことから、活性炭ほどではないにしても、吸着力もあります。古くには、こげ鍋のにおい消しや、酸化鉄を含む地下水(金気)を飲料水にするために木炭が用いられていました。また、木炭は弱アルカリ性を示すことから、酸性物質を中和する働きも持ち合わせています。

このような特徴を生かした新しい用途開発が進められています。しかし、木炭の新しい用途分野での研究は緒についたばかりで、アイデアの域を出ないものが多く、より広く研究を進める必要があります。これらのことから、今一度、木材の炭化と炭化物について述べてみたいと思います。

木材の熱分解とは

- 木材の酸化と炭化の違い -

木材に十分な酸素(空気)を与えながら加熱すると、木材は炎を上げて燃焼します。1gの木材を燃焼させますとおよそ4700calの熱量¹⁾を発生します。その際、木材を構成する有機物はすべて酸化(燃焼)され、大部分は炭酸ガスや水となって大気中に放出され、残るのは灰分だけです。

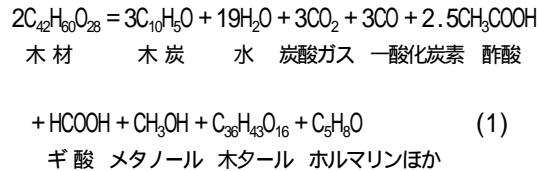
しかし、空気を完全に断つか、極度に制限した状態で加熱すると、木材は図1に示したように、熱によって分解します。木材の一部からは一酸化炭素や炭酸ガス、炭化水素ガス、水などのいわゆる木ガスが生成され、また、微量ながらもアルコールやアルデヒド、ケトン、有機酸などが生成されます。これらは、煙を冷却することによって、木酢液²⁾として収集することができます。それ以外は炭素を主成分とする炭(木炭)が残ります。この現象を木材の炭化(熱分解)といい、木炭は木材の熱分解の残さです。木材を酸化すると残るのは灰分だけですが、炭化では炭(木炭)が残ります。

木材の加熱方法には、木材の温度を徐々に上げて加熱する昇温法と一定温度で加熱する恒温法があります。木材の乾燥や接着、熱圧成形などは恒温加熱法で通常行われます。しかし、木材の乾留や炭化は熱分解が主な目的ですから、昇温法でも

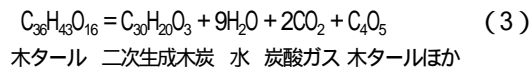
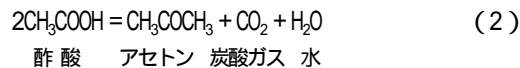
恒温法でもどちらでも木炭(炭化物)を得ることは可能です。いずれにしても、原料である木材の種類(樹種)と形状、含水率、含有成分などと、加熱方法(温度、時間、昇温速度)によって収量が異なります。また、得られた木炭の比重、容積重、硬さ、揮発分、発熱量、熱伝導率、電気抵抗などが異なります。

木材の炭素化とは

木材($2C_{42}H_{60}O_{28}$)の元素組成は微量に含まれる無機成分を除くと、炭素(C)が約50%、水素(H)約6%、酸素(O)約44%で樹種による差は極めて少ないといわれています。この木材の熱分解の仕組みは大変難しく、まだ不明な点が多々ありますが、木材の熱分解を想定した化学式³⁾は次のように通常表わされています。



この化学式は、木材を減圧状態で乾留したときに生成される留出液や木ガスなどの分解物から想定しています。なお、この(1)の式は一次分解物であり、この生成された分解物は、さらに加熱されると、次の(2),(3)の式のように分解や縮合が進みます。その結果、新たな二次生成物ができます。



木材の炭化(炭素化)とは、木材中に含まれる炭素以外の水素や酸素などの原子を除くことにあります。しかし、水素が除かれて脱水素が可能となっても、残った炭素が酸素と結合しますと、一酸化炭素や炭酸ガスになりますから木炭は残りません。木炭ができるには、脱水素によって炭素の

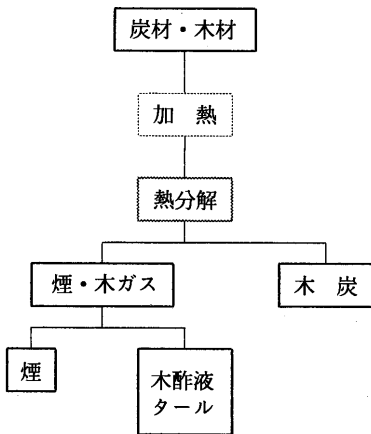


図1 木炭を焼く

表1 木炭の灰分組成例

樹種		白炭	黒炭	
		ウバメカシ	ナラ	
木炭中の灰分 (%)		1,870	1,770	
木材に対する割合 (%)	けい酸	SiO ₂	0.007	0.017
	鉄	Fe ₂ O ₃	0.007	0.023
	アルミニウム	Al ₂ O ₃	0.104	0.004
	チタン	TiO ₂	0.001	0.004
	マンガン	MnO	0.095	0.004
	石灰	CaO	0.630	0.811
	苦土	MgO	0.497	0.089
	カリ+ソーダ	K ₂ O+Na ₂ O	0.338	0.290
	リン酸	P ₂ P ₅	0.060	0.046
	炭酸その他		0.131	0.482

原子がたくさん集まり、大きな炭素の骨組みが必要になります。この炭素原子の集まりが次第に大きくなっていくことを重縮合⁴⁾といいます。

木材の炭素化とは、加熱による脱水素と重縮合の組み合わせによるものといえます。しかし、前記の化学方程式をみる限り、木炭には炭素以外の水素や酸素を含んでいます。このことは、木炭は炭素の塊といわれながらも、厳密にみれば決してそうではないということです。水素や酸素と共に表 1¹⁾ に示すように、微量な無機成分も木材中に含まれています。また、木炭以外の生成物にも炭素が数多く含まれていますが、この炭素を木炭側に残せば木炭の収量が増えることになります。

炭化温度と炭化物の関係については後述しますが、炭化温度が高くなるほど炭化物の純度(炭素率)が高くなりますが、収量は減少していきます。木炭の増収を目的とした「触媒製炭法」⁵⁾ という炭化方法もあります。この触媒製炭法は、塩化アンモニウムなどの脱水触媒を用いる方法です。無機塩などを木材に加えて加熱すると、木材の熱分解が低い温度から始まります。このことから、留出液は減少し、特に、木タール量が少なくなり、結果的に木炭の収量が多くなるといわれます。

また、このような緩やかな加熱ではなく急激な加熱では、ヘミセルロースやセルロース、リグニンが同時に発熱反応を起こすことから、発熱も大きく、多量の留出液や木ガスが短時間に生成されます。このことを急速炭化現象といい、この現象が起きると、当然木炭の収量は減少します。図 2¹⁾ は炭化時の昇温速度の違いによるセルロース

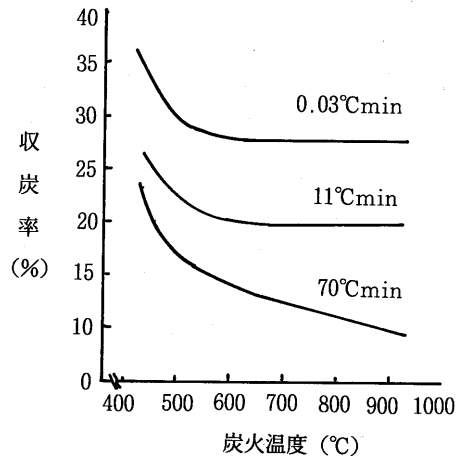


図2 セルロースでの昇温速度と収炭率の関係

炭の収率を示したものです。急速加熱をしますと、一部に発熱反応が起き、分解は連鎖反应的に激しくなります。そして、分解生成物が高温に触れてさらに分解するために、木ガスが増加します。その結果、木炭や留出液が減少します。これは、先に触れたように一次分解の木タールが二次木炭になることなく、木ガスに分解してしまうからです。図からも分かるように、緩やかな加熱では28%の収率(対絶対乾試料)に対して、毎分11の昇温では約20%、さらに急速加熱では10数%と少なくなります。

木炭の原料

木炭の原料(炭材)である木材は、セルロース、ヘミセルロース、リグニンから構成され、これらは木材の三大主要成分といわれます。これらの含有率は図 3⁶⁾ に示したように、針葉樹と広葉樹では若干の違いがありますが、セルロースは約45%、ヘミセルロース20~30%、リグニンでは20~30%になります。これらを合わせますとおおよそ90~95%になります。そのほかには精油やタンニンと、抽出成分や無機成分(表1)が微量含まれています。

木材中で最も多量に含まれるセルロースは、グルコース(ブドウ糖)分子が互いに結合し合い、長い一本の鎖状構造を形成する高分子物質です。

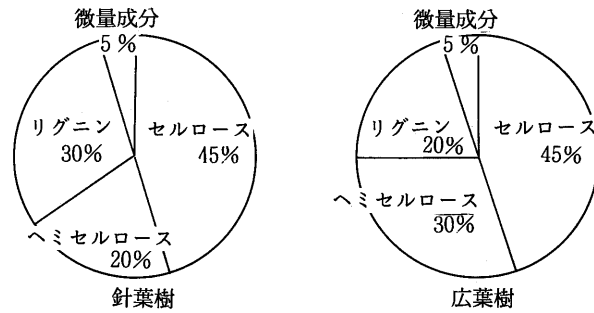


図3 木材の組成

また、ヘミセルロースは非セルロース系の多糖類からなり、鎖状構造はセルロースよりも短く、枝分かれの多い比較的小さな低重合の高分子といわれます。一方、リグニンはフェノール性の物質である芳香族系化合物の重合体といわれ、複雑な網状構造からできています。木材は、このように化学構造の異なった高分子物質から構成されています。この化学構造の違いが、熱分解の難易（抵抗）性、すなわち、炭化のしやすさ⁷⁾に関係します。

熱分解の進み方

木材は多孔質であるため比重は小さく、その孔隙に空気を含むことから熱伝導は決してよくありません。そのために、熱分解温度の昇温速度はゆっくりでなければなりません。それは、木材の熱伝導がよくないのと、セルロースやヘミセルロース、リグニンなどの熱に対する抵抗性が異なるので均一な分解が望めないからです。これらの高分子は、鎖状構造の長いほど、網状構造が発達しているほど強いといわれます。このことから、温度上昇に従って、これらの高分子は熱分解を始めますが、鎖状構造の比較的短いヘミセルロースが260 までに、また、鎖状構造の長いセルロースは260~310 間で熱分解が進行します。310~450 では主としてリグニンが熱分解し、同時に炭水化物の二次的分解も行われて、木材の熱分解は、おおよそ500 前後で終了します。この間に木ガスと留出液が発生しますが、さらに、高温になると留出液は次第に減少し、ガスは主に水素でその生成量は多くなります。そして、炭化物は脱

水素化が進み、700 以上では炭素含有量は90%を超える木炭ができます。

木炭を焼く方法

木材の炭化方法には、大きく分けると二通りの焼き方があります。一つは山で炭がまを築いて炭を焼く築窯製炭法で、炭質の良い木炭が得られます。もう一つは、俗にいう町での炭焼きです。これは、製材工場や加工工場の廃材（のこくず、樹皮、木片など）を原料として、大型の炭化炉で炭を焼く工業的な方式の炭焼きです。原料に廃材を用いますから粉炭が安価に得られることになりま

燃料に使える木炭を焼く⁶⁾

古くから用いられている製炭法には、^{むし}無蓋製炭法、坑内製炭法、堆積製炭法、築窯製炭法などがあります。また、新しい焼き方としては、炭材のある所へ簡単に持ち運びのできる移動炭化炉や、台車に炭材を積み込んで台車ごと焼くブロック炉があります。これらの焼き方で得られた木炭は燃料として用いることが可能です。

最も簡単な焼き方

簡単な焼き方は、無蓋製炭法といいい図4に示したように、露天の平地または凹地に枝材などの炭材を積み重ねます。そして、枝材に点火後に順次炭材を加えて覆い、不完全燃焼を起こさせて炭化します。最後に散水か覆土して消火する方法です。

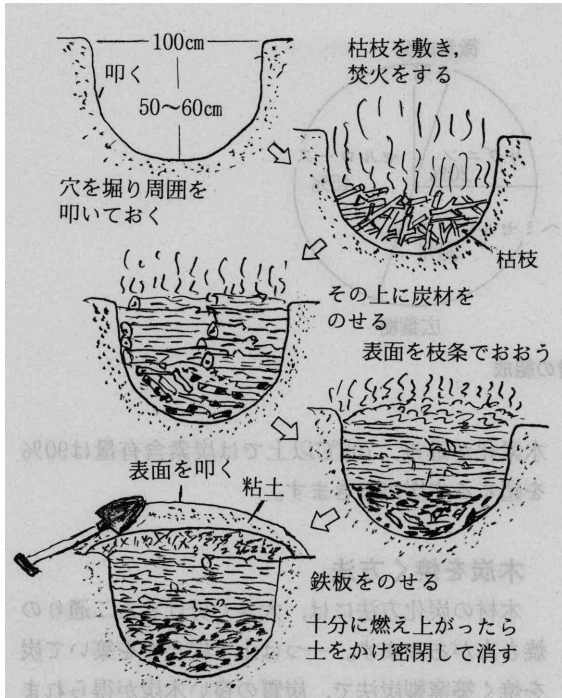


図4 無蓋製炭法

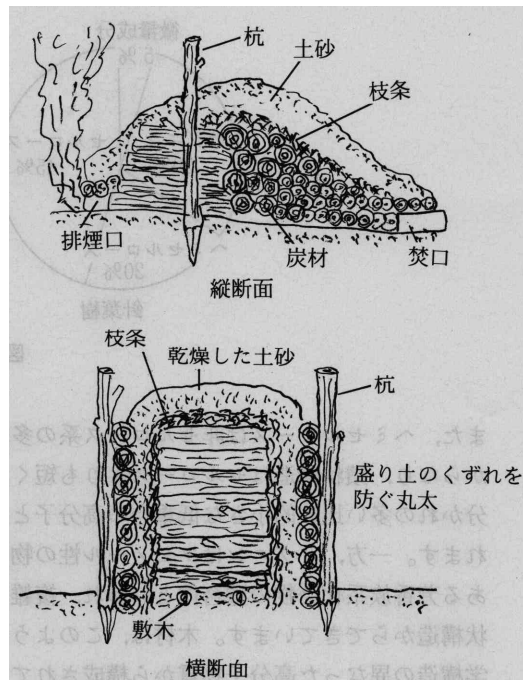


図5 長野式伏焼法

かまはなくても木炭は焼ける

かまを築かずに木炭を焼く堆積製炭法を、図5に示しました。まず、地表に炭材を縦積みあるいは横積みします。その上に小枝や樹皮をかぶせ、さらに外側を土で覆い、たき口や排煙口を設けます。そして、たき口で点火し空気を制限しながら炭化します。わが国の伏焼法は横伏堆積製炭法の一つです。炭質は築窯製炭よりやや劣りますが、かまを築くなどの面倒がありませんので、今ではイベントなどで用いられます。

炭材のある所に簡単に移動できる炭化炉

山地や工場で生じる残廃材の炭化には、移動炭化炉(写真1)が適しています。炭化炉の本体は三段からなっていますから、簡単に分解してトラックに積み込んで炭材のある所へ運ぶことができます。

良質な木炭が得られる築窯製炭法

昔から家庭や業務での暖房用や調理用として使われた木炭は、火つきと火持ちが良く、立ち消え

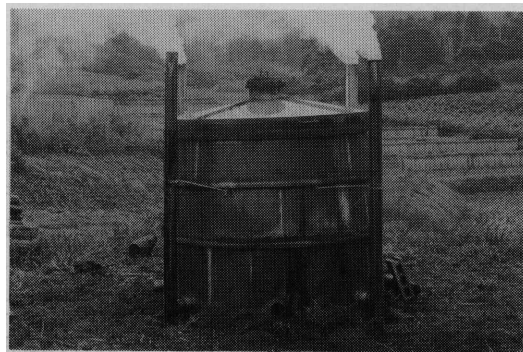


写真1 炭焼き最中の移動炭化炉

や爆跳(火が飛び跳ねる)のないものが良質品として好まれてきました。硬く良質の木炭が得られる炭がまとして築窯製炭法が発達しました。この炭化法には、かま内消火法とかま外消火法に大別されます。かま内消火法で得られた木炭は黒炭といい、かま外消火法で得られる木炭を白炭といいます。なお、かまには、黒炭がまと白炭がまに分かれますが、いずれも考案者名かその地方名が付いています。

良質な”お茶湯炭”が得られる黒炭がま

炭がまは石と粘土で築きますが、形は平面で卵形をしています。大きさは大小ありますが、標準がまの奥行きで約3m、最大幅で約2.4m、最大高さで約1.2mほどです。炭材には径10cmほどのドングリがなるナラ類が最も適しています。伐採後1mほどに玉切りし、1か月ほど水分調整したものを用います。かま詰めは、炭材をすき間なく立て積みします。炭化は、かま口や煙道で空気を調節しながら6~10日かけます。炭化終了間際に精練(ねらし)を行った後、密閉消火します。炭がまの冷却を待ってかま出し(写真2)をしますが、全体で2週間から20日間ほどかかります。

このように、石や粘土で築かれたかまと生材に近い炭材を用いているので、かまの内部温度はゆっくり上がります。このため、樹皮もはがれず、硬く締まった良質の木炭が効率良く得られます。炭材に乾燥材を用いると、どうしても急速炭化になり、軽く柔らかな木炭が得られます。なお、精練とは、かま内に充満している木ガスを燃焼させてかま内温度を高くすることによって、木炭内に残っている木ガスや揮発分を減らす方法です。こうすると、においもなく、爆跳のない木炭が得られます。クヌギ、コナラ、カシを炭材とした木炭は良質で、日本料理やうなぎのかば焼き、焼き鳥、茶の湯炭として使われます。

鉄より硬くて火持ち良い白炭を焼く

白炭を焼くかまは高温に耐えるよう、主に石で

築かれています。白炭がまの形は黒炭がまより丸く、大きさも小さくなっています。炭化の方法は黒炭の場合と大差ありませんが、精練時(写真3)にはかま内の木ガスと共に、炭化した樹皮も燃焼させるのでかま内の温度は1000以上になります。十分に精練を行った後、白熱した木炭をかまの外にかき出して、湿気を含んだ消し粉で覆って消火させます。なお、消し粉は土、木灰を混ぜ合わせて水で湿らせてあります。この消し粉の木灰が木炭の表面に付着して、白っぽくなることから白炭といわれます。

炭材にウバメカシ(ブナ科の常緑樹)を用いた備長炭は有名です。主に和歌山県や高知県などで焼かれています。白炭は俗に鉄より硬いといわれ、のこで切ることのできないので、たたき折ります。その断面は銀白色で、たたき合わせると金属音を発します。白炭は燃焼の持続性が良く、火力調整はうちわ一本でできることから、主にうなぎのかば焼きや焼き鳥などに用いられます。

安価な木炭が大量に得られる炭化工業

良質な木炭が得られる炭がまは、昔に比べると大型化の傾向にあります。しかし、土や石で築いた大型の炭がまといっても、一基当たりの年間生産量は数十トンの規模です。また、現在では山奥とはいわれないまでも山すそで焼かれることが多く、工業的に大量生産される場合には町の近郊で行われています。

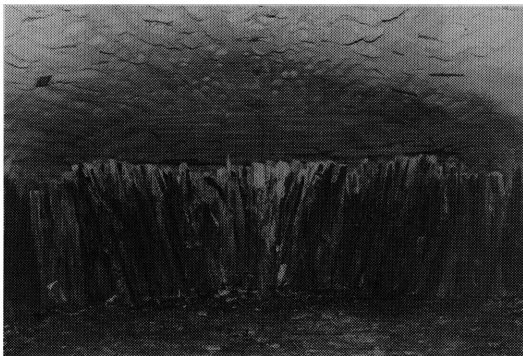


写真2 かま出し途中の黒炭がまの内部

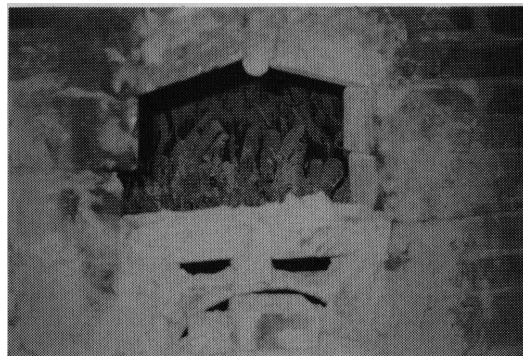


写真3 精練中の白炭がまの内部

連続的に廃材を炭化する¹⁾

木材を工業的に焼く場合、一般に鉄製のレトルト(加熱容器)や土石、れんが造りの乾留がまとなつて、これに付属する加熱室および冷却装置からなっています。方法には回分式と連続式があり、最近では連続式のうち、流動層方式やロータリーキルン、スクリュウ方式が用いられています。いずれの装置も、一方からのこくずや樹皮の粉碎物、あるいはチップ状の原料を投入して炭化します。また、これらの炭化方法の特徴は、燃材の使用が最初の着火時のみで済むことです。通常は炭材の発熱反応を利用したり、熱分解時に生じる木ガスを熱源に用いて炭化します。ただし、のこくずや樹皮、チップなどの粒度は均一が望ましいのです。この種の装置では、一般に炭化は短時間で終わりますが、その速度は炭化状況によって調整されます。したがって、粒度に幅があると、大きいものは未炭化のまま排出され、小さいものは燃焼して灰になってしまうので収率が低下します。なお、煙は完全燃焼させて排出しています。

炭材の形状にこだわらない炭化方法

のこくずや樹皮、または、これらに木片が混合された廃材の炭化には平炉(写真4)が用いられます。炉の形や大きさはいろいろありますが、床はコンクリート製で中央に下水溝のような縦溝を設けて、これを煙道にしています。壁を設ける時にはレンガやブロックを約1mの高さに積み上げますが、設けない場合もあります。

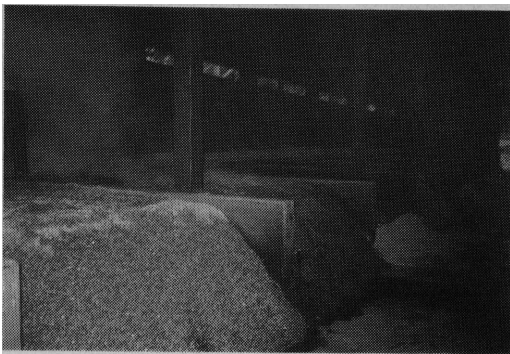


写真4 のこくずや樹皮の炭化中の平炉

炭化は、まず燃焼しやすい木片などに点火し、消えないように炭材で覆い、表面に火が見えたら順次炭材で覆うという方法で行います。なお、排煙は構造上燃焼させることは難しいことから、郊外に設置されています。このような廃材を原料とした炭化物は工業用原料として用いられますが、特にのこくず炭は活性炭用として使い、樹皮炭やその他の混合炭は練炭や豆炭製造用原料に使います。また最近、木炭は炭素質材として土壌改良剤や床下の詞湿材などに使われています。

カラマツ間伐材を炭化するブロック炉

人工林の育成に欠かせない間伐の作業から生じる間伐材の有効利用の一方法として、炭化が行われています。ブロック炉は従来の土がまとは異なり、間口約3.5m、奥行き約4.8m、高さ約2.8mで、壁は軽量ブロック、天井は鉄筋コンクリート、炉内は耐火れんがで仕上げられています。かま口は、鉄扉を用いたことから間口を大きくすることが可能です。かまの内外はレールで結ばれています。作業は、レールに乗った台車上で炭材を「立て込み」し、台車ごと焼きます。焼かれた木炭の「かま出し」(写真5)は台車を引き出して行うのと交替に、別に立て込みした台車をかま入れしますから、作業性は数段高まります。

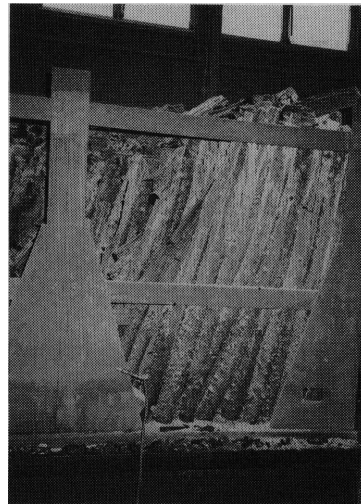


写真5 ブロック炉からかま出しされたカラマツ炭

木炭の生産量

いろいろななかま(炉)でいろいろな炭材を用いて木炭が焼かれています。その木炭の生産量を平成2年度でみると、家庭用・業務用として3.5万トン、粉炭が2.7万トン、オガライトを炭化したオガ炭が2.1万トンで、合計では約8.3万トンとなります。そのほかにヤシガラ炭などが約7.6万トン輸入されています。これら木炭の性質や使いみち、試みについては、次回以降で述べたいと思います。

参考資料

1) 木材工業ハンドブック, 林業試験場編, 丸善(1958)

- 2) 木材ノート, 林産行政研究会, 122, 11~13(1993)
- 3) 中塚友一郎: 「林産製造」, 産業図書 KK(1947)
- 4) 大谷杉郎: 炭素繊維をめぐって, (株)高分子市場研究所(1971)
- 5) 岸本定吉ほか: 林業試験場研究報告, 115,(1959)
- 6) 岸本, 杉浦: 日曜炭焼き師入門, 総合科学出版(1981)
- 7) 栗山 旭: 林業試験場研究報告, 304,(1979)

(林産試験場 物性利用科)