

# 木材の炭化，熱処理による有効利用

## 利用部 バイオマスグループ 本間 千晶

### ■はじめに

木炭は燃料としての特性とともに多くの優れた効用を持っているため、近年その性質や利用方法が注目されています。再生可能な資源であること、身近な生活の中で利用でき、目に触れる機会も多いことから、多くの方に支持されているのだと思います。木材は、炭化条件を適切に制御することにより、木質炭化物として多種多様な性能を付与することができます。例えば、300～400℃の比較的低温領域での処理によっては、酸性の性質となり、塩基性ガスや油の吸着能が高くなるのに対し、700～800℃の比較的高温領域での処理では、塩基性となるとともに、細孔が発達し、VOC等に対する吸着能が高くなります。燃料としての利用は減少しておりますが、その一方でこれらの性質をいかし、多くの利用方法が提案されています。木炭の性質には古くから知られているものもありますが、近年見いだされたものもあります。ここでは、身近な生活に関わる木炭の利用法として、燃料、土壌改良資材、室内環境改善、環境浄化に関わる効用について、最近の知見を交えながら紹介したいと思います。

### ■木炭の生産量

木炭は、日本国内では暖房用、調理用、工業用燃料としてかつて大量に使われていましたが、石炭、石油、ガス、電気といった燃料に押され、生産量、需要とも大きく減少しました。2000年以降の国内および北海道内の木炭生産量の推移を図1に示します<sup>1)</sup>。

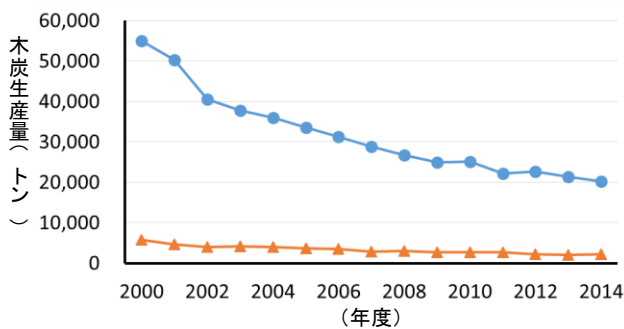


図1 木炭生産量の推移<sup>1), 2)</sup>

凡例: ● 全国 ▲ 北海道

2000年には全国で約55,000トンの木炭が生産されていましたが、2014年には1/2以下の約20,000トンとなっています。北海道では、2000年に約5,800トンの生産がありましたが、2014年は同様に約2,200トンになっています<sup>2)</sup>。

一方、輸入量は増加している状況です。図2に示すとおり、2000年以降の木炭輸入量は徐々に増加し、2014年には約125,000トンとなっています<sup>1)</sup>。当初中国からの輸入量が際立って多かったですが、マレーシア産、インドネシア産が次第に増加し、この3カ国で輸入量の7割以上を占めています。この3カ国からの輸入量には及びませんが、ベトナム（2014年度、約6,100トン）、ラオス（2014年度、約6,700トン）からの輸入量も近年増加しています<sup>1)</sup>。

木炭需要において燃料としての用途は現在も大きな割合を占めていますが、土壌改良資材、床下調湿材などの需要が伸びており、木炭需要の4割程度を占めています<sup>1)</sup>。燃料としての需要は減少していますが、土壌改良資材その他の用途も含め一定の需要が維持され、現在木炭の国内消費量は、やしらが炭を含めると18～19万トンの水準で推移しています。

### ■燃料としての効用

燃料としての木炭の需要は減少しましたが、それでも需要の6割程度を占めています。木炭は燃料として次のような優れた特性を持っており、その効用が見直されています<sup>3)</sup>。まず、石油、ガスと異なり、木材という再生可能な資源が原料であることです。

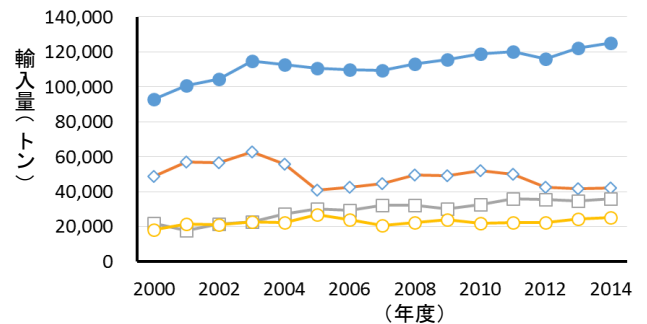


図2 年度別木炭輸入量<sup>1)</sup>

凡例: ● 輸入量合計 ▲ 中国  
□ マレーシア ○ インドネシア



写真1 市販白炭の一例



写真2 市販黒炭の一例

また、木炭の発熱量は1gあたり約 7,000カロリーでありガソリン等の液体燃料と比べ低いです。貯蔵によるカロリー低下もほとんどないため、災害用などの備蓄燃料に適しています。固体で特別な容器も不要であり、可搬性が高いことも利点です。そして、他の燃料に比べ燃焼ガス中に水分が少ないことや、遠赤外線の効果などにより、調理用の熱源としたときには、内部まで焼けやすいだけでなく、うまみや香りを逃がさないことがあります。

このようなことから、キャンプ場でのバーベキューといったレジャーでの利用、飲食店等の業務用での利用で人気があるようです。より高温で処理され、炭化の度合いが高いもの（備長炭、白炭（写真1））は、燃焼温度の上昇が緩やかで、燃焼時間は長い傾向がみられます。一方、炭化の度合いがより低いもの（黒炭（写真2））では、より早く温度が上昇する代わりに燃焼時間は短くなります<sup>4)</sup>。業務用では、温度の上昇に時間がかかっても、燃焼温度が安定して、燃焼時間ができるだけ長い木炭の方が良いということになります。反対に、レジャーでの使用では、燃焼時間は短くても、できるだけ早く温度が上昇する木炭の方が便利です。用途に合わせて使い分けることが重要になります。

### ■土壌改良資材としての効用

土壌改良資材としての用途は、木炭需要において燃料に次ぐ重要なものとなっています（写真3）。木炭は透水性、通気性の改善、保肥性、微生物活性の向上に効果があるといわれています<sup>5, 6)</sup>。また、木炭は炭化条件によって、pH、細孔特性等の性質が全く異なります。400℃前後で炭化された木炭は、pHが

酸性で、細孔が少ないのですが、600～800℃で処理された木炭はアルカリ性で、細孔が発達しています。したがって、施用の際には木炭の性質を確認し、その土壌に適したものを選択することが効果的です。例えば、環境汚染による樹木の立ち枯れを予防するために、木炭施用による酸性土壌の中和が提案されています<sup>7)</sup>。

農作物に対する土壌改良資材としての効用については、近年多くの取組みが報告されています。その一部を紹介します。ハツカダイコンの生育に及ぼす、木炭混入堆肥の施用による効果が報告されています。対照区と比べ、糸状菌相に顕著な相違が認められたことから、木炭混入堆肥の施用による生育促進効果の要因は、微生物が土壌環境を改善したためと考えられています<sup>8)</sup>。また、小松菜のビタミンC含有量増加、土壌中の硝酸態窒素の低減について、青森産広葉樹を原料とした木炭を混入した堆肥の使用が有効であったことが報告されました<sup>9)</sup>。さらに、連作



写真3 市販粉炭（農業用）の一例

障害対策のためのウメ園地改植方法の検討として、木炭利用が検討され、原因の一つであるアレロパシー活性が軽減されること、900℃炭化物を土壤表層に混和する方法が、ウメ連作障害土壤における生育阻害の軽減に効果があることが報告されました<sup>10)</sup>。野菜（アスパラガス）、花き（アルストロメリア）の生育について、アンモニアを吸着した300℃処理チップを土壤改良資材として用いて施用試験を行った結果、品質、収量とも堆肥と同等であり、排水性、通気性や保水性の増加などの土壤物理性改善効果が堆肥に比べ高いだけでなく、効果が長続きすることが認められました（図3）<sup>11)</sup>。

木炭（靱殻くん炭等を含む。）は農業生産性の向上に効果があることに加え、土壤中でほとんど分解されない極めて安定的な炭素を含んでいることから、土壤中の炭素貯留量を増加させる効果が高い<sup>12)</sup>とされ、炭素を土壤中に貯えることで地球温暖化防止の効果が期待できます。もみ殻、竹林間伐材を原料にしたバイオマス炭化物を用い、炭素貯留農法を行った場合のLCA（Life cycle assessment）による検討例では、水田、畑地いずれにおいても二酸化炭素削減効果が期待できるとされています<sup>13)</sup>。また、建設廃木材の炭化プロセス<sup>14)</sup>や、木質バイオマスの地域炭化処理<sup>15)</sup>における二酸化炭素排出量、炭素隔離量を予測し、LCAにより効果的な二酸化炭素削減方法を提案する試みも行われています。さらに、木炭の農地への炭素貯留による農作物ブランド化を行った事例では、農作物における地球温暖化防止、地球環境

保全の価値は、消費者に対し、安全・安心や地産地消といった他の付加価値と同様に訴求する可能性を有しており、特に女性や高齢者に支持される傾向が見いだされました<sup>16)</sup>。

### ■室内環境の改善

室内環境の改善における木炭の効用として、調湿（吸放湿）効果、悪臭・有害ガスの吸着、断熱性などがあります。調湿とは、湿度が高くなると水分を吸着して湿度の上昇を防ぎ、湿度が低くなると水分を放出して乾燥を防ぐ機能をいいます。

床下湿気に伴う被害に関するアンケート調査において、建築後10年以上の家屋で、カビ、床のたわみ、腐れの被害が、建築後15年以上でシロアリの被害が多く発生するという結果が示されています<sup>17)</sup>。調湿効果を持つ材料を床下や押入などに置くことによって、このような被害を防止することが期待出来ます。炭化温度の異なるスギ木炭を用い、炭化温度と調湿能との関係、調湿に関わるメカニズムを調べたところ、炭化温度や比表面積値とは必ずしも相関性が無く、表面化学性、メソポア空隙（微細な空隙）が重要であることが報告されています<sup>18)</sup>。

木炭を調湿材として利用することは、電気などのエネルギーを使用しない、あるいは必要最低限のエネルギー使用で快適な住環境や保存環境を長期間にわたって、手に入れるための一つの手法であることに言及されています<sup>18)</sup>。また、木炭の床下調湿の検証で、モニター調査において、アトピー性皮膚炎や



アルストロメリア

アスパラガス

図3 木質熱処理物を土壤改良資材として用いたアルストロメリアとアスパラガスの生育状況

小児気管支喘息の症状が軽くなったとの報告例があったことが紹介されています。木炭を床下、天井に敷設し、ダニやかび孢子数の減少と喘息症状軽減の相関性が示され、室内相対湿度が下がり、ダニやかびの増殖しにくい環境になることが明らかになりつつあるとされています<sup>17)</sup>。

竹炭でも同様の調湿効果が報告されています(写真4)。竹炭の吸放湿効果について検討例として、竹炭の使用により密閉空間で結露が防止されること、竹炭ボード存在下において、温度変化に伴う急激な湿度変化を抑えられることが報告されています<sup>19)</sup>。なお、炭化条件(比表面積値)の異なる竹炭の吸放湿試験では、比表面積値との間に明確な相関は示されていないようです<sup>19)</sup>。

私たちの身近には様々な臭いや有害ガスがありますが、木炭はこれらを吸着する能力があります。ただ、1種類の木炭がどんな臭いでも吸着できるというわけではありません。臭いにはそれぞれ様々な性質があり、その性質によって吸着材として求められる性質が異なるためです。例えばトイレ、家畜糞尿の臭いの成分の一つにアンモニアがありますが、これを吸着するためには300~400℃で熱処理し、酸性官能基を多く持つ材料が適しています<sup>20)</sup>(図4)。一方、塗料や接着剤に含まれる溶剤の臭いの吸着には、600~800℃前後で炭化し、細孔径が2nm以下の孔を多く持つ材料が適しています。したがって、取り除きたい臭いの種類がわからないときは、炭化条件の異なる木炭を混ぜて用いるのが効果的と思われます。ホルムアルデヒド吸着効果について、スギ、竹等を500~1,000℃で処理した炭化物を用いることで、

中ホルムアルデヒド低濃度環境(0.4ppm)において、0.08ppm(厚生労働省室内濃度指針値)以下に低減されたことが報告されています<sup>21)</sup>。さらに、揮発性有機化合物の単一成分ガス、多成分混合ガスによる吸着性能について、ヒノキ材、シナ合板を400~1,000℃で処理した炭化物を用いた検討により、より高温で処理した炭化物でより高い吸着能を示すこと、また、VOCの種類によっては単一成分ガスまたは多成分混合ガスでは、個々のVOC吸着量が異なることから、他のVOC成分の共存が吸着量に影響を及ぼすことが報告されました<sup>22)</sup>。また、使用方法として、フィルター状に成形するなどの方法が考えられますが、木片炭化マット状に成形した材料を用いたホルムアルデヒド、アンモニア吸着能に関する検討例では、単位重量あたりの吸着量はマット密度が低いほど、高かったことが報告されています<sup>23)</sup>。住宅用断熱材としての使用を目的とした、断熱性に関する報告例もあります。木片炭化マットによる断熱性発現メカニズムを検討する中で、粗空隙のみかけの熱伝導率に着目し、木片炭化マットの断熱性が木質小片断熱材より優れている理由として、マット粗空隙の細分化による対流抑制や輻射低減などであることが示されています<sup>24)</sup>。

#### ■環境浄化資材としての効用

工場、河川、海洋などでの環境浄化を図る上で、有害金属イオン、油などを効果的に除去することが必要となります。木炭はこれらの用途でも使用することが可能です。



写真4 市販竹炭(調湿用)の一例

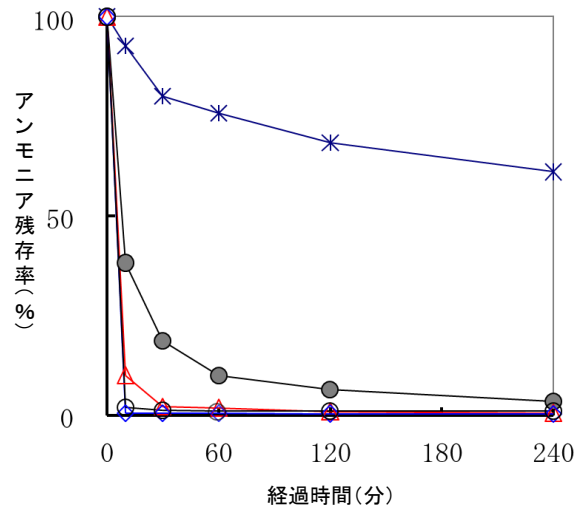


図4 アンモニア吸着試験結果の一例

凡例: \* 木粉 ● 250℃ ▲ 300℃ ◆ 350℃ ⊕ 400℃

有害金属については、コーンコブ（トウモロコシ穂軸）炭化物の金属イオン吸着特性に関する報告例があり、化学的な性質に基づいて、吸着メカニズムの一例が説明されています<sup>25)</sup>。環境ホルモン、揮発性有機物(VOC)の吸着特性とともに、炭化温度および炭化物の物性との関係が報告されています<sup>25)</sup>。また、水溶液中のセシウムイオンの吸着について、ナラ炭による検討例が報告されています<sup>26)</sup>。

林産試験場では次のような取組みが行われました。300～400℃で熱処理し、多量の酸性官能基を持つ材料は、アンモニアの吸着だけでなく金属イオンの吸着にも有用であり、生成した酸性官能基が効果的に錯体形成に寄与すること、酸処理による金属イオンの脱離により元の構造に戻る等が示されました<sup>27), 28)</sup>。このことは、木材の熱処理によってもイオン交換材料を製造しようということを示します。現在樹脂製のイオン交換材料等は使用後の廃棄方法が重大な問題となっています。イオン交換樹脂の代替として、植物由来の材料を用いることができれば、廃棄時の処理がより容易となることが期待されます。さらに、木質熱処理物のセシウムイオン、ストロンチウムイオン吸着挙動および得られた錯体の化学的性質について報告されています<sup>29)</sup>。

熱処理条件を適切に制御することにより、木材には疎水性、親水性の性質を付与することができます。この性質を利用して、林産試験場では、木質チップを蒸煮、解繊し、ファイバー状としたものを、スクリー炉で325℃付近の温度領域で熱処理することによって、水を吸着せず、油を選択的に吸着する素材を開発しました。油吸着性能は、木材を熱処理することにより生じるとともに、ファイバー形状がその

効果を高めています(写真5)。北海道森林組合連合会との共同で研究が進められ、用途に応じて、家庭用吸着マット、河川用オイルフェンス等の形で製品化、販売されています<sup>30)</sup>。

#### ■おわりに

木炭は、炭化条件を変えることによって様々な機能が備わります。農業用資材としては、成長促進効果に加えて、炭素貯留効果が注目され、二酸化炭素の固定、地球温暖化防止対策としても消費者から理解されつつあると考えられます。また、調湿、脱臭等の機能により、室内環境改善が期待できることは、健康な暮らしを送る上で重要と考えます。環境浄化についても、新たな知見が報告され、利用技術も進展しています。今回は木炭の身近な利用技術について紹介しました。木炭の性質を良く知り、効果的に使用することで、より豊かで健康的な生活や、地球温暖化防止にも繋がります。今後も有用な木炭の利用技術の開発が期待されます。

#### ■参考文献

- 1) 農林水産省林野庁林政部経営課編：林野庁 特用林産物生産統計調査(2016)、特用林産物の生産動向(2016)  
[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo\\_rinsan/](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo_rinsan/)
- 2) 北海道水産林務部林業木材課編：北海道特用林産統計(平成12～26年度)
- 3) 斎藤勝：林産試だより 12月号, 1-7(1993)
- 4) 農林水産省 林業試験場編：木材工業ハンドブック, 843(1958)



原料木材（ファイバー状）



木質油吸着材

写真5 ファイバー状原料と木質油吸着材

- 5) (財)北海道地域技術振興センター編：北海道の木質炭化物とその利用，70-75(1990)
- 6) 木材炭化成分多用途利用技術研究組合編：木炭と木酢液の新用途開発研究成果集，(1990)
- 7) 大森禎子，岩崎眞理：木質炭化学会誌，7(1)，3-11(2010)
- 8) 松本和浩，神藤恵史，須藤弘毅，須藤宏樹，佐々木嘉幸，園木和典：木質炭化学会誌，7(2)，63-67(2011)
- 9) 佐藤早希，藤田知道，須藤宏樹，松本和浩：木質炭化学会誌，12(2)，37-43(2016)
- 10) 橋本千賀子，大江孝明，水口裕介，西原英治：木質炭化学会誌，9(2)，75-81(2013)
- 11) 田村忠，鈴木亮子，地子立，藤倉潤治，生方雅男，本間千晶：木質チップから製造されたアンモニア吸着材の畜産場面および土壌改良材としての利用，平成19年度北海道農業試験会議（成績会議）資料，3-9(2008)
- 12) 農水省「今後の環境保全型農業に関する検討会」報告書（2008）
- 13) 関谷諒，柴田晃，鐘ヶ江秀彦：木質炭化学会誌，10(1)，22-34(2013)
- 14) 妹尾一成，古崎康哲，小川眞，石川宗孝，松岡康二：木質炭化学会誌，7(1)，27-31(2010)
- 15) 妹尾一成，古崎康哲，小川眞，石川宗孝：木質炭化学会誌，9(2)，82-90(2013)
- 16) 田麿裕祐，西出崇，柴田晃，鐘ヶ江秀彦：木質炭化学会誌，12(1)，9-16(2015)
- 17) 末吉修三：木材工業，62，152-156(2007)
- 18) 栗本康司：木質炭化学会誌，9(1)，2-9(2012)
- 19) 小幡透，日高富男，西元研了，山之内清竜：木質炭化学会誌，8(1)，24-27(2015)
- 20) 本間千晶，佐野弥栄子，窪田実，梅原勝雄，駒澤克己：木材学会誌，46(4)，348-354(2000)
- 21) 斉藤幸恵，森美知子，信田聡，有馬孝禮：木材学会誌，46(6)，596-601(2000)
- 22) 中島大介，鈴木香織，後藤純雄，矢島博文，石井忠浩，吉澤秀治，渡辺征夫，酒井伸一，室内環境学会誌，8(1)，9-14(2005)
- 23) 山口晃輔，関野登，栗本康司，小藤田久義：木質炭化学会誌，7(2)，76-82(2011)
- 24) 関野登，山口晃輔：木質炭化学会誌，9(2)，68-74(2013)
- 25) 成田榮一，佐々木陽，会澤純雄，平原英俊：木質炭化学会誌，9(2)，59-67(2013)
- 26) 山内繁，栗本康司，谷田貝光克：木質炭化学会誌，10(1)，35-42(2013)
- 27) 本間千晶，窪田実，梅原勝雄，佐野弥栄子：特許第3138749号
- 28) 本間千晶，佐野弥栄子，梅原勝雄，長谷川祐，藤本英人：第11回日本MRS学術シンポジウム要旨集，33(1999)
- 29) 本間千晶，畑俊充：第11回木質炭化学会研究発表会講演要旨集，49-50(2013)
- 30) 梅原勝雄：林産試だより11月号，2(2005)