

# 炭を用いた水浄化 —木炭浄化システム—

建設省土木研究所河川環境研究室

## 1. 炭を使う

アウトドアレジャーがはやりなのか、キャンプ用品を扱うホームセンターで、木炭が燃料として簡単に入手できる。そして以外なことに、その袋を見ると多くが輸入品だ。パーベキュー用などと銘打っており、原産国の表示がインドネシアやマレーシアとなっている。

国内の木炭生産量は、1950年代には200万トンを超えるときもあったが、20年後の1970年には約20万トンまで減少し、1990年は約3万5千トン、そしてここ数年はほぼ同量である。一方、木炭の輸入量について見ると、1988年の約1万2千トンから1992年には3万6千トンと、国内生産量とほぼ同量に増加した。レジャーなど新しいフィールドで使われることが多くなったのだろう。店頭には、そうして輸入木炭が並んでいたのである。

炭には白炭（しろずみ）、黒炭（くろずみ）、竹を炭化した竹炭、おがくずを固形化して炭化したオガ炭など、いくつもの種類がある。白炭は樺や栗の木を炭としたもので硬く、カタ炭ともいわれ、燃すと火力が強く火持ちがよいためコンロなどに使われる。紀州備長炭がその代表だ。白炭の名前の由来はその表面が灰白色していることによる。色の黒い黒炭は櫟が一般的な原料である。やわらかく、そのままではすぐに燃えつきてしまうので、黒炭は灰の中に埋めてゆっくり燃やして使う。火鉢や茶の湯で使われる炭はこの炭である。

また炭には燃料以外にも濾過材や脱臭材、吸湿材としての使い方も開発されていた。木炭は200~300m<sup>2</sup>/g程度の比表面積を持ち、活性炭の500~1500m<sup>2</sup>/gには及ばないが、活性炭同様、臭い物質や色素の吸着効果を持つ。井戸水のろ過に使うのは経験ある方も多いと思う。古くは、平安時代初期に奈良橿原神宮井戸の底に敷き詰められた木炭が知られており、これは井戸の底からの湧水を木炭で濾過し汲み上げていたものと考えられている。そして最近では、炭を用いて小水路や堀、河川を浄化する試みがなされている。

炭を川の浄化に用いたのは、10年ほど前に八王子市内の市民団体が多摩川の支川、南浅川で行ったのが先駆である。その後、長岡京市、熊本市、甲府市、日野市などで市民団体、自治体などが河川の浄化を試みたが、結果は川によって異なり、比較的効果を発揮したところもあれば、そうではなかったところもある。市原市では設置後2ヶ月間で目づまりを起こし浄化効果がなくなった。また東京都世田谷区でも、原水の水質が悪過ぎて十分な効果は認められな

かった。だから木炭は水域の水質浄化にはまったく役に立たないという評価も一部にある。

これらの浄化方法は水路の底や排水口下に、かごに詰めた木炭を沈めるもので、流入流量の管理ができない。このため表面に付着したぬるぬるした泥などが流量の変化によって流れ出たり、雨天時に流れてきた土砂がたまって目づまりを起こしたり、汚濁量が浄化しうる許容量を始めから超えていたりした。その結果、満足する浄化効果が得られず失敗だったという評価につながっていると思われる。

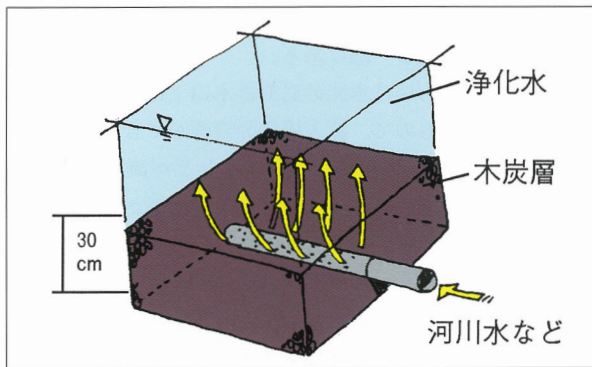
これから紹介する木炭浄化システムは民間企業が開発したシステムで、ゴルフ場の池や農業用溜池などの小水域で実績を上げている。建設省土木研究所では、処理面積が小さく、コストが低廉、ろ材が再生材である本システムに着目し、河川などへの適応性の検討をこの1年程行ってきた。

## 2. 木炭浄化システムとは

このシステムは粒径10~40mmの木炭を層厚30cm程度に敷き詰め木炭層を形成し、その中を2~6cm/min (28.8~144m/day)の一定流速で水を上向流または下向流でろ過させる(図-1)ものである。上水処理の緩速ろ過法(0.2~0.4cm/min)と急速ろ過法(8~14cm/min)の中間のろ速となっており、この両者の中間の性格を持つものと予測される。砂に比べて粒径の大きい木炭層の中を、水をゆっくり流すところが特徴となっている。また浄化後の水は流入水に比べて溶存酸素が減少し、堆積した汚泥の有機物量は流入水に含まれていた量より少なくなっている。したがって浄化は、ろ過効果による汚濁物質の蓄積と、蓄積した汚泥の酸化分解効果によりなされている。この浄化メカニズムは、河川直接浄化として実施されている礫間接触酸化法とほぼ同様である。なお河川や湖沼の浄化の場合に対象となる汚濁物質に対して、木炭の吸着効果はあまり期待できない。



写真1 栃木県県庁堀における実験  
(浄化水が噴き出ている。写真左上、上流部分との水の透明感の違いに注目)



図一 木炭循環浄化システム概要

### 3. 実験結果について

建設省土木研究所、建設省地方建設局、栃木県等で行った実験の概要と効果を表一に示した。

建設省近畿技術事務所の実験では、浄化槽にエアレーションによる排泥装置や汚泥溜を設け逆洗浄を行い、木炭層内の目づまりを防いだため、浄化効果が高く安定した除去率を示した。

霞ヶ浦で行った湖水の浄化実験では、湖沼の富栄養化の原因物質であるリン・窒素に高い除去効果が得られた。これは1)リン・窒素を含んだ藻類を効果的にこしとる、2)ろ材内部に低酸素状態が発生し脱窒が行われるためと考え

表一 木炭浄化実験結果一覧

場所	目的概要	装置	除去効果 (上段は流入水質)					結果	
			BOD	SS	COD	T-N	T-P		
土木研究所 土浦市備前川	本実験では①家庭排水が定期的に流入する河川における浄化効果②システムの差異による浄化効果の比較を検討した。備前川の水をポンプで汲み上げ、図に示した装置で浄化を行った。備前川は家庭排水の流入する小川である。		流入mg/l	10	25	13	3.2	0.3	①汚泥の堆積により短路流が発生し除去効果が落ちた。 ②流入水に比べて浄化後は溶存酸素が減少していた。 ③堆積した汚泥の強熱減量は流入水より減少していた。 ④システムの違いによる除去効果の差は小さかった。
			層厚30cm ろ速2cm/分	31%	37%	14%	5%	10%	
			層厚60cm ろ速2cm/分	41%	48%	19%	8%	18%	
			層厚30cm ろ速1cm/分	36%	50%	16%	8%	5%	
土木研究所 栃木県庁 栃木市	本実験は①家庭排水が流入する小水路における浄化効果②砂利、針葉樹木炭、広葉樹木炭の3種のろ材の比較を検討した。河床にろ過層を埋設しポンプで水を送り込み浸透ろ過を行った。		流入mg/l	4.1	29		4.6	0.3	①河床に水草の繁茂が見られた ②透視度が向上した。 ③砂利と木炭の間で大きな差はなかった。
			ろ材 砂利	40%	88%		4%	57%	
			ろ材 針葉樹木炭	51%	88%		8%	51%	
			ろ材 広葉樹木炭	38%	87%		8%	35%	
関東地方建設局 土浦市霞ヶ浦	本実験では湖沼水の浄化効果を検討した。水面下1mのところに、内部に集水管を配した木炭を詰めたかごを吊し、ポンプで水をろ過させた。霞ヶ浦は富栄養化現象が問題となっている湖である。		3.8 mg/l	18.6 mg/l	4.6 mg/l	2.2 mg/l	0.1 mg/l	①ほとんど目づまりは無かった ②リン、窒素を含んだ藻類を効果的に濾し取ることができた。 ③内部に嫌気的狀態が発生し脱窒が行われた。	
			60%	70%	39%	18%	42%		
近畿地方建設局 寺内谷川	本実験では①図に示したシステムの有効性②エアレーションによる排泥装置の有効性を検討した。寺内谷川は家庭排水の流入する河川である。システムは3層に別れ、それぞれ汚泥溜めとエアレーション散気管を持つ。		59.6 mg/l	39.4 mg/l		18.2 mg/l	2.8 mg/l	①エアレーションによる排泥操作により、堆積した汚泥はほとんど排出できた。 ②除去率が高かった。	
			84%	95%		42%	54%		
中部地方建設局 伊那市天竜川	本実験では大川における高水敷を利用した浄化手法の有効性を検討した。天竜川は諏訪湖を水源としここからの汚濁が問題となっている河川である。高水敷に池を掘り、池に本川の水を導き池内で循環浄化させ、オーバーフロー分を本川に戻すシステムである。		3.1 mg/l	15 mg/l	5 mg/l			①池における沈澱作用も加わってSSの除去効果が高かった。 ②本方式による浄化の可能性が示された。	
			61%	93%	24%				
まとめ			60%	80%	30%	20%	45%		
礫間接触酸化法			60%	70%		6%	15%		

数値は実験期間中の平均

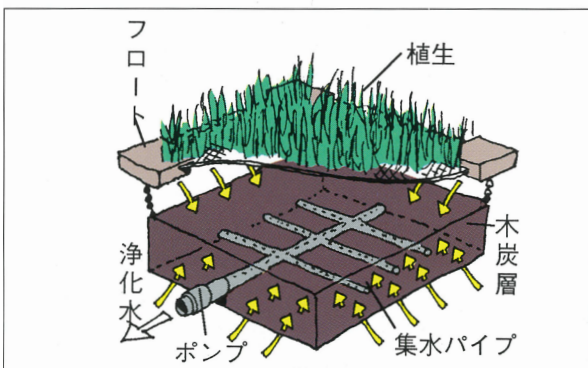
られる。ただし、総リンは常に除去されるが、藻類に摂取されやすいリン酸態リンとして溶出したので、導入に当たっては除去総量とリン酸態リンによって増殖する藻類量の関係を検討する必要がある。水中に土砂成分の少ない湖沼等の閉鎖性水域においては目づまりも生じにくく、有効なシステムであることが予想された。

建設省土木研究所と栃木県が行った、家庭雑排水が流入する栃木市県庁堀（準用河川）の浄化実験では（写真－1）、表に示した除去効果の他、浄化装置が埋設された河床にのみ大量の水草が発生し、その水草により汚濁物質がトラップされ、さらに浄化が促進される状況が見られた。これは、浄化水の透視度が100cm以上と高く光合成に有利な条件となるなど、水生植物の生息環境が改善されたためと思われる。

建設省土木研究所による、茨城県土浦市を流れる備前川での河川水浄化実験では、土砂の堆積により目づまりが生じて、ろ層の一部に圧力がかかり短路流が発生、除去効果が落ちた。ろ過システムであるため、特に分解が期待できない土砂成分により目づまりを起し易い性質がある。木炭層内の汚泥堆積量がろ層1m<sup>2</sup>あたり50kgとなったとき、ろ水を得るための圧力差が40cmを超え、上向ろ過の場合、上向きに圧力がかかり木炭層が浮き上がる。木炭浄化は長期的に稼動するためには排泥対策が必要となる。

#### 4. 長所と短所

本システムの長所としては、1) BODに関しては礫間接触酸化法と同等の効果がある、2) リン・窒素に対しても有効なシステムとなり得る、3) 礫間接触酸化法と比較して施設面積は約1/2以下となる、4) 間伐材、風倒木などの木材を再利用した木炭をろ材として活用している、5) 木炭は軽いので、施設は簡易に、施工は省力化を図ることが



図－2 浮き島浄化システム

できる、6) エアレーションにより揺動、逆洗させ易い、7) 浮き島などの新しいシステムの構築が可能である（図－2）、などが挙げられる。一方短所としては、土砂成分により目づまりしやすいことが挙げられる。内部に土砂が堆積すると、一定量のろ過水を得るための必要圧力差が上昇し、取水堰やポンプなどの施設が対応しきれなくなる。汚泥の引き抜きなどの定期的メンテナンスが必要である。近畿技術事務所では、実験結果にもとづきエアレーションによるろ材洗浄（発生汚泥は汚泥溜にためる）を2～3ヶ月に1回、汚泥溜からの汚泥引き抜きを1年に1回程度必要と試算している。

#### 5. 木炭浄化システムのまとめ

本システムは礫間と同等以上の浄化能力を有し、施設規模は小さくできるが、排泥のための十分なメンテナンスが必要である。またろ材として木炭を使用することは、廃材の利用が可能であったり、森林資源保全など環境の保全にも貢献すると思われる。

#### 6. そして

木炭が、いつから日本で作り使われるようになったのかわかりはしない。先史時代に、薪が燃え残った消し炭から炭の持つ無煙性、火持ちの良さといった特徴が知られるようになり、積極的な生産に至ったと思われる。ただ日常生活には薪などで十分であり、また製造技術も未熟だったと考えられるので、それほどには普及しなかったのではないかと。

けれども弥生時代後半から古墳時代にかけて、鉄の製錬技術が導入され鉄器が普及すると、木炭の使用量は飛躍的に増加したに違いない。鉄は砂鉄などの酸化鉄を製錬して出来るが、古代の製鉄では、その際還元剤としての木炭が必要不可欠であり、また木炭の熱でなければ鉄は溶けない。木炭は鉄を作るための原料であり熱源だったのである。そしてこのとき製鉄技術を会得した山師、たたら師と呼ばれる技術者が全国へ散らばり、彼らから木炭の有益性が一般の人々に広く知られ普及したのであろう。山形県北部では、木炭の作り方を金売吉次に教わったと伝わる。金売吉次とは山師の総称と言われ、彼の地で砂鉄を掘り、木を切り炭を作り、鉄を製錬していたのだ。

これらたたら師によるたたら製鉄では製錬に大量の木炭を必要とした。江戸時代、広島県山県郡の隅屋鉄山では、一年間に製錬所一ヶ所に付き約89ha、鍛冶場一ヶ所につき約20haの森林に相当する炭が必要とされた記録がある。だ

から鉄のとれる山は採掘そして木々の伐採によって荒廃し、川は土砂流出により暴れ川となった。古事記に残る出雲伝説では、高天の原を追放され出雲（島根県）に降り、櫛名田比売（クシナダヒメ）と結婚した須佐之男命（スサノヲノミコト）は、八俣の大蛇（ヤマタノオロチ）を成敗し、その尾から草薙大刀（クサナギノタチ）を得たとある。この話は、出雲を治める為政者が治水事業を行い農業を振興させた事実を下敷きにするといわれる。須佐之男命は川（八俣の大蛇がこの例え）を治め、美しい田（櫛名田比売）を得たというのだが、舞台となった中国山地は鉄の産地である。伝説には無いが、鉄の採掘と森林伐採により荒廃した山に、須佐之男命は炭ともなる樹を植え、山そして川を治めたのでないか。そして草薙大刀に象徴される鉄の安定供給、鉄農具による農業の効率化をも成し遂げたのではあるまいか。

今、山が荒れている。薪や炭をとらなくなった山は針葉樹への転換がなされた。海外から安く木材が輸入され、山を十分維持管理出来なくなった。手入れされない針葉樹林は雨にもろく、出水、土砂の流出を招いた。

現代の須佐之男命は八俣の大蛇を、どう退治するのだろうか。

間伐材、風倒木の処理に、それらの木炭化ができないかと試みが始まった。

たたら師には再生の信仰があったといわれる。鉄は錆びてくずれても炭と共に熱すると再び美しい鉄となる。炭は黒いが美しい環境を再生する能力を秘めているかもしれない。

#### 参考文献

- 1) 日本統計年鑑。
- 2) 杉浦銀治編著：炭焼き革命，牧野出版，1992。
- 3) 松本 聡：浄化材，木炭と木酸液の新用途開発研究成果集，pp269，1990。
- 4) 樋口清之：日本木炭史，pp38，講談社。
- 5) 用排水管理業書編集委員会編：ろ過，工学図書，1968。
- 6) 安部賢策：木炭による水質浄化の実際，木炭新用途セミナー資料，pp15，1993。
- 7) 建設省近畿技術事務所：上向き流木炭浄化実験結果資料，1994。
- 8) 森 浩一編：日本民俗文化体系3 稻と鉄，pp244～pp281，小学館，1983。
- 9) 金関 怒，佐原 真：弥生文化の研究5 道具と技術Ⅰ，pp17～pp25，雄山閣，1985。
- 10) 森 浩一編：日本民俗文化体系13 技術と民俗，pp291～pp298，小学館，1985。
- 11) 菅原 聡：人間にとって森林とは何か，講談社，1989。
- 12) 上田正昭，井手 至編：日本古典文学Ⅰ 古事記，1988。