

飲用水中の有害物質の除去に関する研究 (木炭濾過法について)

山 口 務
村 山 陽 子

緒 言

これまでの日本人の水に対する意識は、「水は天然にあるもので、美味しいのが当たり前、安全なのは言うまでもない」と言うものであった。しかし、近年特に都市部を中心に原水が汚れ、安全で美味しい水を供給することが困難になり、そのためスーパーマーケットやコンビニエンスストアで市販されているミネラルウォーターの消費量は急増している。しかし、毎日使用する飲料水、調理水のすべてを市販の水に頼ることは、経済的に困難であり、むしろ家庭に配水されている水道水中の有害物質を除去し、飲用に適する水を作成することが望ましい。

市販の家庭用浄水器には一般に活性炭素が使われているが、活性炭素は有害物質の除去能力は優れているが、価格が高く入手も困難である。この活性炭素と同族体とも言える木炭は、安価で入手も容易である。従って、木炭に水道水中の有害物質を除去する効力があれば、家庭での実用性が高いと考えられるので、その可能性について試験した。

その結果、水道水中の残留塩素、臭い、亜硝酸塩、硝酸塩に対して木炭は優れた除去効果を示すことが確認された。また、一度使用した木炭は、簡単な再生法によって繰り返し使用可能であることが分かった。

本研究は、水道水の木炭濾過による浄水効果について報告する。

I. 実験材料及び実験方法

(1) 木炭濾過装置及び使用原水

- 1) 木炭濾過装置は、2 L容ペットボトルの底を切り離し、キャップには錐で直径1 mm前後の穴を開けて密栓し、全体を倒置してスタンドに固定する。その底部に、脱脂綿またはガーゼを詰め、その上に砕いた木炭（直径約1~2 cm）を、高さ約25 cmまで隙間がないように詰める。（図1参照）

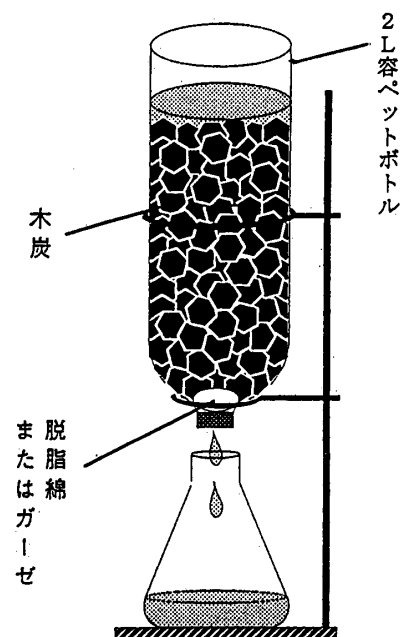


図1 木炭濾過装置

2) 実験に使用した木炭は、バーベキュー用等に市販されている燃料用木炭（堅木、良質、価格：100円前後/kg）を購入し、これを砕いて直径 1~2 cm前後の大きさの粒を選別し使用した。

なお、一度使用した木炭の再生法は、使用後の木炭をペットボトルから取り出し、鍋などに移し、水約 5 Lを加えて5~10分間煮沸した後水を捨てる。次いで木炭を取り出し、紙の上に広げて3~4時間天日で乾燥する。これを再び元のペットボトルに詰め、再生木炭として再使用試験に供した。

3) 使用原水は、本学化学実験室の水道水を用いた。水道水の採取は、活栓を開いた後最初の約 5 Lを捨て、次の 2 Lを容器に集めた。試験期間は、第1回は2001年 9月 1日~9月 20日の20日間、また第2回は10月 1日~10月 20日の20日間とした。採取した水道水は直ちに亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、残留塩素量を測定した。その結果から、量が過少な成分については、木炭による除去効果が判然としない恐れがあるので、判定しやすくするためにその塩類試薬を添加し、以下のような組成の検水を作成した。

亜硝酸性窒素：6.0 ppm、硝酸性窒素：6.0 ppm、残留塩素：0.2 ppm

また、木炭による臭気の除去効果を調べるために、検水にはかび臭の成分とされるジオスミンを0.5 ppmになるように添加した。

以上のような組成の検水について、木炭濾過法による浄水効果を試験した。

4) 実験操作法は、毎日 1回、検水 2 Lを木炭カラムの上部に加える。下から滴下する水量を、ほぼ100 ml/minになるように穴の大きさを調節する。流下した水は下に受器を置いて集め、この採水液について、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、過マンガン酸カリウム消費量の測定、及び臭気、味覚試験を行った。

(2) 各種成分の分析方法

各種成分の分析方法は、水道法による水質基準測定にほぼ準拠して行なった。

1) アンモニア性窒素

100 ml容共栓付三角フラスコに50 mlの検水を採り、2.5%フェノール溶液 2 mlを加えよく振り混ぜる。これに2.5%アンチフォルミン（1.25%水酸化ナトリウムを含む）2.0 mlを加えて混合し、栓をして室温に4時間放置した後、630 nmで吸光度を測定する。塩化アンモニウム標準溶液で作成した検量線から、アンモニア性窒素を求める。

2) 亜硝酸性窒素

検水及び標準溶液30 mlに約0.2 g（耳搔き1杯分）のG.R. 試薬を加え、よく振り混ぜて溶解させる。これを沸騰水中に約7分加熱した後、水道水で冷却し、520 nmで吸光度を測定する。亜硝酸イオン標準液は、亜硝酸ナトリウム0.493 gを秤量し、これを蒸留水に溶かして1 Lとした液を用いる。この液の1 mlは、0.1 mgの亜硝酸性窒素に相当する。

3) 硝酸性窒素

検水及び標準溶液30 mlに1% N-ナフチルアミド溶液 1 mlを加え振り混ぜ、5分後、0.1%

飲用水中の有害物質の除去に関する研究

N-ナフチルエチレンジアミン溶液 1 ml を加えて発色させ、520 nm の吸光度を測定する。硝酸イオン標準液は、硝酸カリウム 0.7286 g を秤量し、蒸留水に溶かして 1 L にした溶液を使用する。この溶液 1 ml は、0.1 mg の硝酸性窒素に相当する。

4) 過マンガン酸カリウム消費量

検水 50 ml を三角フラスコにとり、10 ml の硫酸（1 : 2）及び 10 ml の 0.01N 過マンガン酸カリウム溶液を加えて、沸とう後 5 分間加熱し、0.01 N シュウ酸 10 ml を加え、直ちに 0.01 N 過マンガン酸カリウム溶液を用いて微紅色になるまで滴定する。前後に要した過マンガン酸カリウムの ml から、次式により計算する。

$$\text{KMnO}_4 \text{ の消費量 (ppm)} = 0.316 \times m \times F \times 100 / 50$$

5) 臭気及び味覚試験

検水約 150 ml を 500 ml 容共栓つき三角フラスコに取り、強く振とうした後直ちに栓を取り、臭いを嗅いで異臭の有無を調べる。また、検水を口にふくみ、味の有無を調べる。なお使用した原水には、塩素臭以外はほとんど感じられなかったため、これにジオスミン 0.5 ppm 添加し、臭いを付与した検水についても、木炭による除去が可能か試験した。ジオスミンは、湖水などに発生する“アオコ”と呼ばれる藻類が生成する臭い成分として知られる物質である。

なお、飲料水中の各成分の水質基準値は、厚生労働省水道法により、表 1 のように定められている。

表 1 水道法第 4 条による水質基準（抜粋）

成 分	基 準
アンモニア性窒素及び亜硝酸性窒素	同時に検出されないこと。
亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素	10 ppm 以下
有機物等（過マンガン酸カリウム消費量）	10 ppm 以下
残留塩素	通常 0.1 ppm 以上（特殊な環境下では、0.2 ppm 以上）
臭気、味	異常な臭気、味のないこと、ただし、消毒による臭味を除く

II. 結果及び考察

(1) アンモニア性窒素

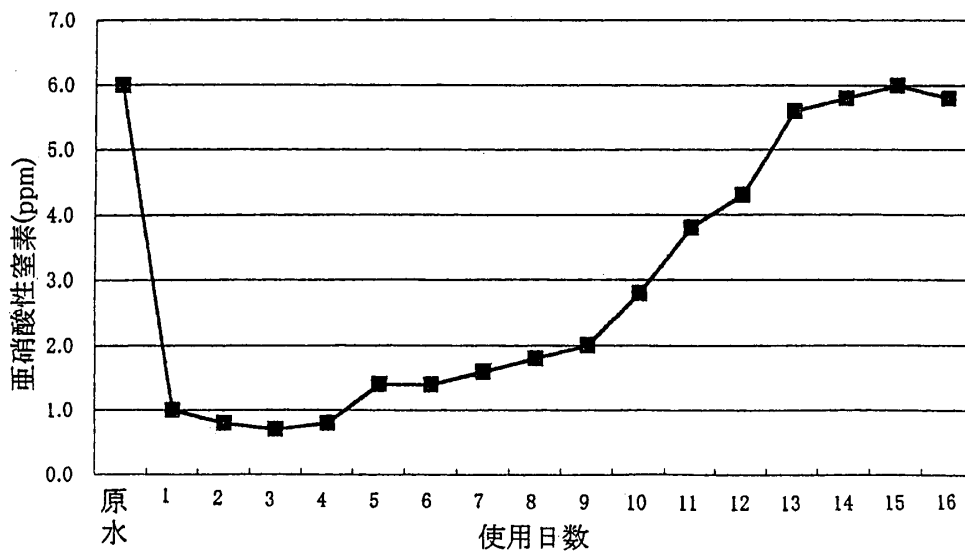
原水中のアンモニア性窒素は、全試験期間を通して 0.1 ppm 以下であった。この原水を木炭濾過法により処理した場合、約 15 日間、アンモニア性窒素は殆ど痕跡程度まで除去された。15 日以後アンモニアの値は徐々に増加し、ほぼ 20 日後に初めの原水の値に戻った。（データ省略）。ここに使用した量の木炭により、ほぼ 30 L 分の検水中のアンモニアが除去できることが認められた。

(2) 亜硝酸性窒素

原水中の亜硝酸性窒素は、全期間を通じて1.2~1.5 ppm であった。本実験の目的である木炭濾過法による亜硝酸の除去効果を試験するためには、この量では微量過ぎて結果の判定が困難であると思われる。そこで、各原水に亜硝酸ナトリウムを添加し、亜硝酸性窒素として6 ppm の濃度に調整後、木炭濾過処理による亜硝酸の除去効果を調べた。

結果は、図2に示すようである。

図2 木炭による亜硝酸塩の除去効果



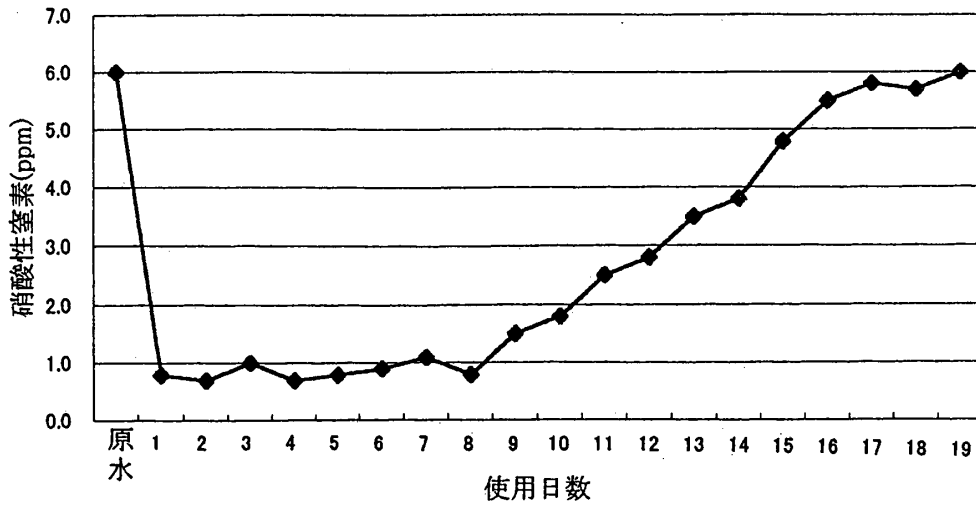
図に見られるように、木炭濾過処理により検水中の亜硝酸塩は、約10日間、その90%が除去された。10日以後木炭の吸着能力は徐々に低下し、ほぼ15日後にはその能力は殆ど認められなくなった。この間浄化された水量は、10日では20L、15日では30Lになる。本検水の場合、ここに使用した木炭量が吸着飽和に達する水量は、ほぼ30Lであることが示された。

(3) 硝酸性窒素

原水中の硝酸性窒素は、全実験期間を通して0.5~1.0 ppm であり、木炭濾過法による除去効果の有無を調べるには、微量なために結果の判定が困難と思われる。そこで、これに硝酸ナトリウムを添加して全硝酸性窒素量を6 ppm になるよう調整したものを検水として実験に使用した。

結果は、図3に示すようである。

図3 木炭による硝酸塩の除去効果



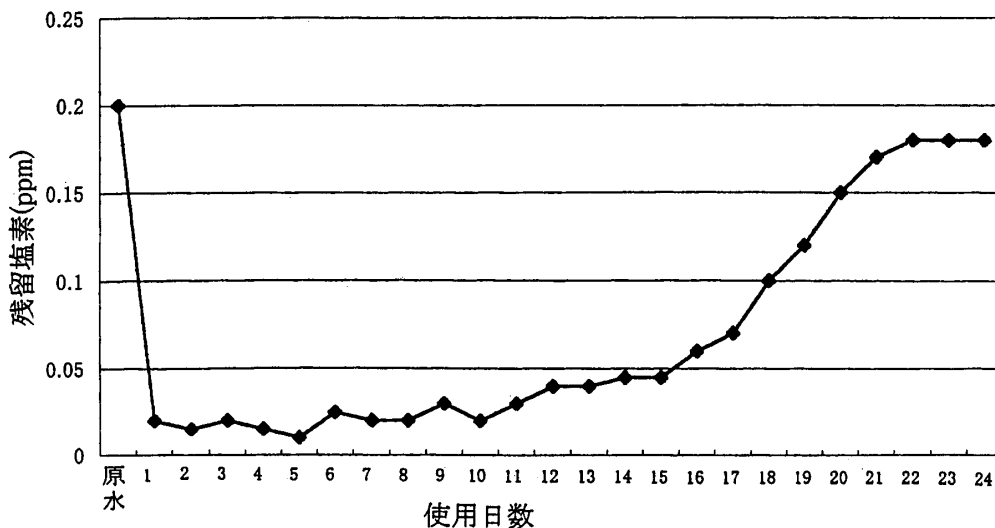
図に見られるように、硝酸性窒素の消長は前項で調べた亜硝酸性窒素（図2）とよく似た結果を示し、約10日間の採水（20L）に含まれる硝酸塩のほぼ70%が除去されることが認められた。10日以後は徐々に効果が低下し、約15日後（採水量：30L）には硝酸塩の吸着はほぼ飽和に達することが分かった。

(4) 残留塩素は、水道用水やプール用水の殺菌料として重要であるが、特有な臭気を有し、またお茶などの香味、色などを損なうことが知られている。従って、残留塩素を除去することは、水道水を美味しくするための必要条件の一つである。

原水中の残留塩素は、試験全期間を通して0.1~0.2 ppmであった。そこで、毎回原水に次亜塩素酸ナトリウム溶液を加えて塩素量0.2 ppmに調整した検水を作成し、木炭濾過法の試験に供した。

結果は、図4 に示すようである。

図4 木炭による残留塩素の除去効果



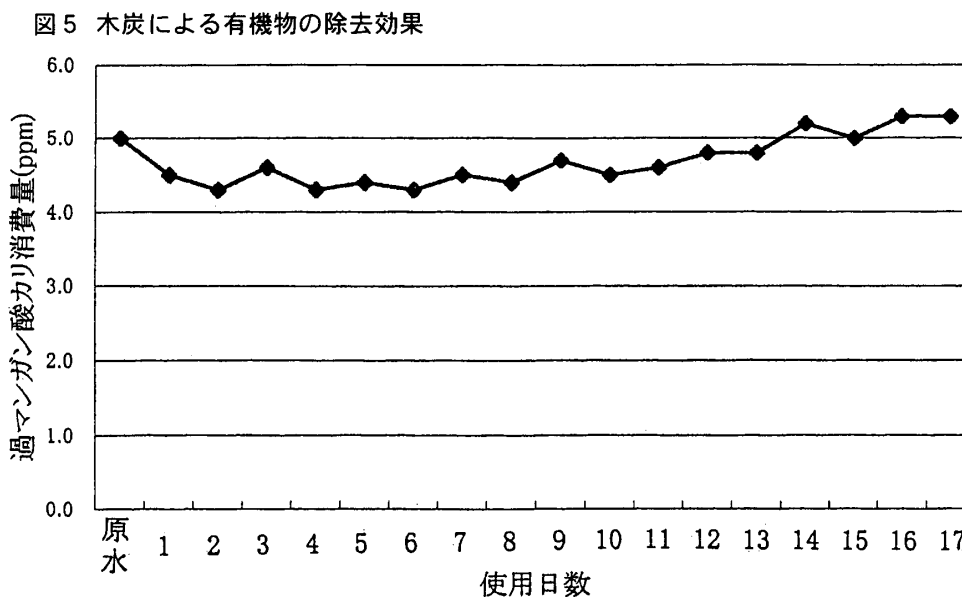
図に見られるように残留塩素は、木炭濾過により約13日間、ほぼ完全に除去されることが認められた。それ以後は徐々に除去効力は低下するが、約28日間効果が保たれた。

残留塩素の除去効果が亜硝酸や硝酸に比べて可成り長期間保たれることについては、残留塩素が木炭に吸着されるばかりでなく、木炭中に存在するある種の成分によって還元され、分解消失する可能性が考えられる。このように塩素は木炭濾過法により容易に除去できることが認められた。

(5) 過マンガン酸カリウム消費成分 (COD)

水のCOD値は、一般に溶存する有機物質の総量を示す数値として常時測定され、BODと共に河川の汚れを示す一指標として重要である。原水のCODは、試験全期間を通して5.0 ppm前後で、この値は汚れが比較的少ないことを示している。

検水を木炭濾過処理した後測定したCODの消長は、図5に示すようであった。



図に見られるように、CODは木炭濾過法では殆ど除去できないことが認められた。水道水中には種々の有機物質、特に高分子物質が存在するが、それらに対して木炭の吸着能力は極めて弱いことを示している。

(6) 味及び臭い物質

原水には、特に異味は感じられなかった。この原水を木炭濾過処理した水は、原水に比べて多少軟らかく、やや軽い感じとなり、市販のミネラルウォーターに近い味を示した。

一方、臭いについては、原水では塩素臭、及び新たに添加したジオスミン臭が感じられたが、木炭濾過処理した水では、ほぼ15日間、塩素臭、及びジオスミン臭は完全に除去され、殆ど無臭

に近くなった。しかし、20日前後からは、特にジオスミン臭が徐々に感じられるようになったが、塩素臭はみられなかった。このように木炭濾過法は、これらの臭い物質の除去に極めて有効であることが確認された。

(7) 木炭の再生による効力の回復

前述のごとく、木炭濾過法により原水20~30L分（毎日2Lずつ10~15日間）のこれら有害物質を除去できることが明らかになった。一方、一度使用した木炭を、何らかの方法で再生することにより、再び吸着力が回復して再利用できれば、実用性が更に高められる。そこで、その再生法について種々検討した結果、使用した木炭を水と共に一度煮沸した後天日乾燥することで、吸着力が殆ど完全に元に戻ることが分かった。（この再生方法の詳細については、「実験材料及び方法」の項に示した。）

この方法で再生した木炭について、臭い物質除去効果を調べた結果を表2に示す。

表2 使用後再生した木炭の効力

使用木炭	原 水			30ℓ採水検水		
	塩素	臭 気		塩素	臭 気	
		塩素臭	ジオスミン臭		塩素臭	ジオスミン臭
新しい木炭	0.2ppm	+++	+++	0.045ppm	—	—
再生木炭	0.2ppm	+++	+++	0.05ppm	—	—
再々生木炭	0.2ppm	+++	+++	0.07ppm	±	±

表に見られるように、再生された木炭は未使用の新しい木炭にほぼ近い吸着能力を示すことが明らかになった。また、この再生した木炭で30Lの検水を処理した後、これをさらにもう一度再生した木炭（再々生木炭）の臭い物質除去効果についても試験した結果、新しい木炭と殆ど変わらない効果を示すことが認められた。（表2）

このように、今回実験に使用した木炭量の規模で採水される浄化水の量は、約30L（ペットボトル大瓶15本分）で、しかも一度使用した木炭は、何度か再生使用できることがわかった。

前述のごとく、一回の試験に使用する木炭の価格は、100円以下であり、また入手も容易で、家庭での水道水の簡易浄化法として、極めて有用であると思われる。

要 約

水道水中の有害物質を除去する方法として、木炭による濾過法について検討した。その結果、約1.5Lの木炭による各種成分の除去能力について、次のことが明らかになった。

- 1) 20Lの原水中に含まれるアンモニアは、殆ど完全に除去された。
- 2) 検水中の亜硝酸塩、及び硝酸塩は、毎日2Lずつ15日間分（30L）の検水中に含まれる量の70~80%が除去できることが認められた。
- 3) 検水中の残留塩素は、同じ条件で20日間分（40L）の検水中に含まれる残留塩素を除去できる

ことが認められた。また、味、及び臭い成分（かび臭の原因とされるジオスミン）は、40Lに含まれる量が、ほぼ完全に除去される。

- 4) 過マンガン酸カリウム消費成分（有機成分）は、木炭には殆ど吸着されないことから、この方法での除去は困難であることが分かった。
- 5) 使用後の木炭は、水とともに煮沸した後天日乾燥することにより、殆ど完全に吸着力が回復し、繰り返し使用が可能であることが認められた。

以上の結果から、木炭濾過法は、家庭での水道水の簡易浄化法として極めて有用であることが確認された。

参考文献

- 1) 水の分析、第4版、日本分析化学会北海道支部編、化学同人、1997.
- 2) 新水質化学分析法、三宅泰雄、北野康著、地人書館、1978.
- 3) 金沢市水道五十周年史、金沢市企業局編集発行、1980.
- 4) 生活環境論、岩槻紀夫著、南江堂、1995.
- 5) 生活環境科学概論、中塩真喜夫著、恒星社更生閣、1980.
- 6) 水文・水資源ハンドブック、水文・水資源学会編、朝倉書店、1998.
- 7) 水と人の環境史、鳥越浩之、嘉田由紀子著、お茶の水書房、1985.
- 8) 水の健康法、河野友美、安田三弥、太田雅子著、農山漁村文化協会、1989.
- 9) 水のはなし、Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、高橋裕編、技報堂出版、1998.
- 10) 水環境と流域環境、高橋裕、河田恵昭編、岩波書店、1998.
- 11) 日本の水文化、三和総合研究所編、ミネルヴァ書房、2001.
- 12) 水、物質循環系の変化、和田英太郎、安成哲三編、岩波書店、1999.
- 13) 飲み水のはなし、アクサ研究会編、技報堂出版、1995.