

炭による河川浄化とゼロエミッション構想

相原良孝¹・糸川高德²・村上英二³

¹正会員 工修 宇都宮工業高校 土木科（〒320-8558 宇都宮市京町9-25）

²正会員 工博 宇都宮工業高校 土木科（〒320-8558 宇都宮市京町9-25）

³正会員 宇都宮工業高校 土木科（〒320-8558 宇都宮市京町9-25）

炭には、消臭効果や汚染物質の吸着効果があり、この性質を利用した河川浄化活動を試みた。森林保全活動として間伐作業を行い、この間伐材を自分たちで焼いて炭にし、ネット詰めして河川に設置した。さらに、循環活動として使用後の炭を森林に戻した。このサイクルを炭循環と名付け、ゴミがでないゼロエミッション活動として実践した。炭による河川浄化は簡単な設置でも効果がありかつ消臭効果も高かった。また、この活動は小中高の学校間連携活動として、行政・市民団体との協同活動として実施された。今後の市民協同活動として、町づくりとしても発展の可能性があると示唆された。

キーワード：炭循環、河川浄化、ゼロエミッション、水質、森林保全

1. はじめに

近年、持続的に発展させるための社会的なシステムの構築及びその運用が、地球環境問題の深刻さとともに求められつつある。河川環境に関しても市民の関心が高まつつあり、より潤いのある空間、直に触れられる空間や癒しの空間などの親水性に対する要望が求められつつある。もちろん、河川には洪水などの災害に対する安全性を確保することは当然のこととし、新たに質的な転換が図られつつあるが、さらに、市民に対するサービスの向上、利便性及び親近感などの感性を援助することも求められるようになってきた。

本研究では、これまで本校で実践してきた炭循環活動による河川浄化効果¹⁾、²⁾について報告すると共に、一連の流れがゼロエミッション構想としての有効性について検討するものである。また、この活動は高校生による環境問題への理解と実践活動として位置付けられ、環境教育の中で特に環境ISOの活動として、今後の展開及び波及効果についても検討することとする。

2. 炭循環について

(1) 炭循環について

炭循環は次の活動により成り立っている。

- (ア) 森林地での間伐作業・間伐材を用いた炭焼き（間伐材の有効利用）
 - (イ) 炭による河川浄化活動
 - (ウ) 河川浄化後に回収した炭の森林地への散布（土壌改善による樹木育成）
- この循環の模式図を図-1に示す。



図-1 炭循環模式図

この循環活動は、自然界の物質循環が無駄がなく次から次へと利用され、生態系のシステムが共生原理により成り立っていることを想定したシステムである。また、この循環ではそれぞれの段階で有用な活用がなされる。それぞれの働きには、さらに細部のシステムが内蔵され、人間の免疫機構のような働きも含んでいる。それぞれの意義と役割を次に示す。

a) 間伐材炭化活動

現在多くの森林があまり手入れされず、そのために森林地の荒廃が問題とされてきている。森林地の保護・保全は健全な水循環機構の確保に繋がり、地球温暖化対策としても重要である。特に、栃木県では地下水利用の観点から水源涵養は重要な意味を持つ。

間伐作業は良質な樹木を育てるのに必要なもので、保育間伐と呼ばれ、樹齢10年から15年生樹木を対象に、森林の健全な育成と利用価値を高めることを目的に実施される。また、間伐材がそのまま放置されると腐敗または流出し、温暖化ガスの放出や河川環境の悪化を招く。

間伐材を有効利用することの1つとして炭にすることがある。炭化させて炭という製品にすることにより、木材の炭素は残り、炭素を固定したまま利用できる。

b) 河川浄化活動

河川環境は多くが見た目や臭いなどの感覚的な部分で判断されることが多く、実際にクレームの大部分を占めていると思われる。循環して使用される水であるが、近年、水質が悪くなり、また、使用量も30年前の2倍と多くなってきたことから水資源の質的な関心は高くなっている。さらに、生活に潤いを求めることのニーズから川に対する関心も高まってきている。川への回帰が始まってきたと言えるかも知れない。「水に流す」という言葉にあるように、川との付き合いは古くからのものであるが、近年、都市化などの影響によりこうした関係が衰退してきている。

河川環境の悪化は水質の劣化により判定されることが多く、水質が健全であれば元気な水となり、多くの生き物のいのちを健全に育み潤いを与える。

また、河川を浄化することが急務となる必然な理由として、生活の向上・利便性によるものと考えられる。したがって、河川浄化は河川だけを浄化しても根本は改善されたことにならず、さらにさかのぼって、人間の心を清らかにすることまでも含まれる

と考えられる。

河川を浄化する場合、まずは、現状を把握する必要がある。生物学的な観点、水質の観点、水循環系としての観点、人間の生活場としての観点等である。

この活動は、水質の観点から、人間系として河川浄化活動を学校・市民・公共団体との協同により行った。多くの人々が参加することにより身近な存在となるばかりでなく、自己責任により改善することができ、広範囲のネットの構築が可能となる。それぞれの係わりが水質浄化のシステムとして機能することで、自分たちの川として捉えることができると思われる。

この研究活動でも小中高校の連携や河川愛護会などとの協力、炭を用いることで民間の業者との協力もあった。また、水質観測を行うことにより定量的な観点から河川を診断でき、問題点を見つけることもできた。科学的な手法と実践活動とを組み合わせることにより、有効な活動となると思われる。

河川浄化には、いろいろな問題が複合的に関わっているため、全体的な目的とシステムが必要である。炭による河川浄化は間伐材の有効利用の1つとして、焼いた炭を河川に入れ、河川水中の汚濁物質を吸着することにより機能する。炭が持っている吸着能を利用したもので、この吸着力は臭いに関しても有効であった。

c) 回収炭散布による森林育成

最近、酸性雨による問題が起きている。その原因として、酸性度の低い降雨により、直接的には樹木が枯れることも見られるが、降雨によって土壌が酸性化し、その結果、土壌からアルミニウムイオンなどの重金属が溶出し、樹木の根系の生育が阻害され養分が吸収できにくくなることにより成長に影響が出るのが想定される³⁾。炭を散布することにより、酸性化した土壌の改善効果が期待できる。炭には、マグネシウムやカルシウムが残っており、こうした成分が雨により溶出することによって土壌の酸性化を防ぐことができ、樹木が育つと考えられる。しかしながら、河川浄化に使用した炭には、いろいろな物質が吸着していることが考えられ、安全性を検討することも重要である。

炭循環として、河川で使用した炭を森林地に戻すことでサイクルが回ることとなる。

炭循環はそれぞれの活動でいろいろな働きをする。そして、最後に元に戻り、土に還る。このことは、炭がいくらよい物であってもゴミとなれば、やはり環境に優しくない活動となる。炭の吸着能が少し悪

くとも，全体系で有効であれば，全体系でプラスの活動となると考える．

(2) 実際の活動

これまで2年間行ってきた活動について写真-1から4に紹介する．

写真-2は炭焼きを行っている風景である．炭焼きに窯にはドラム缶を利用し1日かけて炭を焼いた．

写真-3は河川への炭設置の様子である．収穫ネットに炭を詰め，河川にロープで固定した．はじめ，炭は浮いているが時間が経つにつれ炭が水を吸って沈んでいく．河川に設置した炭は定期的に掃除と交換を行った．

回収した炭は，翌年の間伐材炭化活動の際に山に散布した．

3. 炭による土壌改善実験

(1) 炭の単位体積重量

炭は焼き方，材質により重さにばらつきが見られる．今回までに使った炭の単位体積重量を表-1に示す．

表-1 炭の単位体積重量(単位:g/cm³)

	カシ	コナラ	アカマツ	スギ	ヒノキ	タケ
単位体積重量	0.408	0.293	0.194	0.161	0.207	0.468

この表から，自分たちで焼いた炭ではタケが一番重く，次に，カシ，コナラとなっている．炭を焼く温度や材質によって，2倍から3倍以上の差となっている．

タケ材は繊維の密度が高く，炭としてもそれほどの重量は減らなかった．しかし，ヒノキ材は軽く，炭にしても軽い．比較的成長の早い，スギ，ヒノキ及びアカマツの単位体積重量は軽く，コナラやカシでは重い．これには成長が遅いことが，関係していると思われる．

炭を焼いている温度は，約650 位と推定される．

(2) 炭の吸着効果実験

炭の吸着効果は，1 cm³に200m²と言われる空間⁴⁾がある．この空間により，いろいろな物質を吸着できるとされている．炭の単位体積重量により，吸着力の差が見られることが推定される．また，炭の材質によっても吸着効果に差があることが推測される．ここでは，炭材による吸着効果についての実験を行った．



写真-1 間伐作業風景



写真-2 炭焼き風景



写真-3 炭設置(釜川)



写真-4 炭散布風景

a) 実験条件

実験条件を以下に示す。

(ア) 使用した炭：カシ炭，竹炭，ヒノキ炭，クヌギ炭

(イ) 炭の大きさ（粒径）：

4種類の炭を適度な大きさに砕き，次に蒸留水で洗い，ふるいで5mmから10mmの範囲の炭選別した。

(ウ) 実験に用いた炭の量：各10g

(エ) 使用した試験水：釜川の水3リットル

b) 水質分析項目及び分析方法

水質観測は，実験開始前，実験終了直後に行った。

分析項目は，pH，EC，ORP，BOD，COD，SS，ナトリウムイオン，塩素イオン，硫酸イオン，硝酸イオン，マグネシウムイオン，カルシウムイオンである。分析は，pH，EC，ORPは簡易測定器で，BOD，CODは滴定により，SSは濾過後乾燥重量を測定し，溶存イオンはイオンクロマトグラフィで分析した。

c) 結果及び考察

実験結果を表-2に示す。

表から，カシ炭の場合，pHは8日間で上昇し，それ以降はあまり増加していない。ECも5日間で上昇したが，それ以降はあまり上昇していない。COD，SSはともに12日間経過で，かなり減少している。溶存イオンは，Cl，Naで減少を示しているものの，それ以外のイオンでは増加している。ヒノキ炭では，pHはカシ炭と同じような傾向を示している。クヌギ炭では，pHはカシ炭と同じ傾向で，ほぼ横ばいの傾向で，COD，SSはクヌギ炭と同じ傾向である。溶存イオンは，Clイオンだけが低下し，それ以外では増加に転じている。

タケ炭ではpHは経過日数とともに増加しているが，ECは12日経過で減少している。COD，SSはカシ炭と同じ傾向を示し，溶存イオンは，Cl，Na，Caイオンで減少し，NO₂，SO₄で増加している。

pHは経過日数とともに，どの場合でも増加の傾向で，12日間での増加幅は0.5程度となっている。ECは炭によって異なった傾向が見られた。ECは水に溶けているイオン類などの総量を示していると考えられるので，炭材により溶け方や吸着の仕方が異なっていることが推測される。分析したイオン量で比較するとタケ炭の減少量が一番大きく，次がクヌギ炭，ヒノキ炭，カシ炭となった。タケ炭はカシの約20倍大きくなっている。ECとの関係では，カシ炭は増加しているが，タケ，ヒノキ炭は減少しクヌギ

炭では横ばいである。

また，ヒノキ炭，カシ炭，クヌギ炭はCaイオンが12日経過で増加しているが，竹炭では減少し，Naイオンはクヌギ炭で増加しているが，それ以外では減少を示した。Mgイオンはどの場合にもほとんど変化していない。これらのことから，炭の種類により，イオンの吸着と溶出のメカニズムが異なっていることが考えられる。ヒノキ材による炭は軽く，比較的溶けやすいことが推測される。このことが，ヒノキ炭のCaイオンを多く溶出している原因とも考えられる。実験ではどの炭でもSO₄イオンが増加しているが，タケ炭が一番増加している。もともとの炭母材に硫黄が含まれている可能性が考えられるが，今回は硫黄の分析は実施していない。

表-2 実験結果の一覧

単位(EC:mS/m

COD,SS,Cl,NO₂,SO₄,Na,Ca,Mg:mg/l)

炭材	カシ		ヒノキ	
項目	実験開始前	12日経過	実験開始前	12日経過
pH	7.5	8.18	7.5	8.01
EC	40.3	40.6	40.3	39.8
COD	2.7	1.1	2.7	1.7
SS	11	1.2	11	1.4
Cl	81	76	81	75
No ₂	2.6	3.1	2.6	3.2
So ₄	21	25	21	24
Na	38	35	38	36
Ca	33	37	33	40
Mg	6.2	6.3	6.2	6.4
炭材	クヌギ		タケ	
項目	実験開始前	12日経過	実験開始前	12日経過
pH	7.5	8.04	7.5	8.17
EC	40.3	40.4	40.3	35.2
COD	2.7	1.5	2.7	1.6
SS	11	1.2	11	1.6
Cl	81	77	81	79
No ₂	2.6	2.9	2.6	2.8
So ₄	21	24	21	37
Na	38	40	38	34
Ca	33	36	33	32
Mg	6.2	7	6.2	6.2

4. 炭による河川浄化効果

炭を宇都宮の中心部を流れる釜川に設置した。釜川は，延長約9kmで市内部では2段河川となっている。この区間の上段分の水質の悪化と悪臭が市民の関心事となっている。

(1) 観測地点及び現況の水質観測結果

観測地点を図-2に、溶存イオンの分布図を図-3に示す。



図-2 観測地点一覧(釜川)

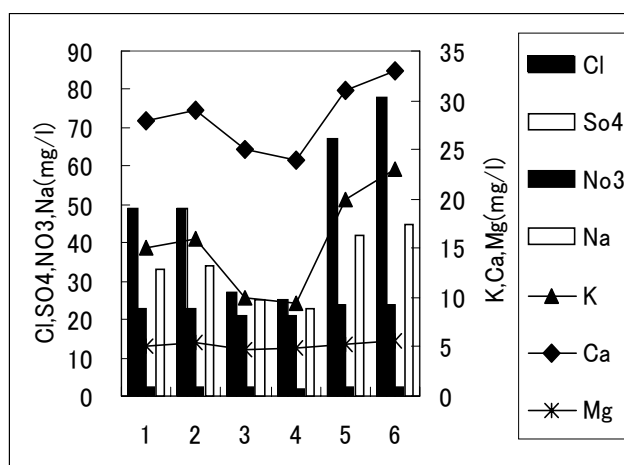


図-3 溶存イオン分布図(H13.7)

今回は図示していないが、pHは、観測点No3で8.4と高く、最上流のNo6で7.5と低く、最下流では、7.85と低下し、上に凸の状態である。DOは観測点No2で減っているものの、6mg/l以上で、BODは、1.2mg/lから1.8mg/lとかなり良好であった。また、CODは0.6mg/l以下と少なく、汚染物質による酸素消費が少ないと判断できる。

溶存イオン(図-3)は観測点No3,4で少なく、塩素イオン濃度は、最上流のNo6で78mg/lと最も高く、No3,4で急激に減少し、下流のNo1,2で約50mg/lと増加している。釜川の近隣は、下水道が完備されており、生活雑排水の混入は考えにくいので、河川のみの影響でこのような結果となったと考えられる。したがって、河川の流下途中で、塩素イオンが吸着され、濃度が下がるが、また下流で増加するため、途中でClイオンが増加する人為的な活動でない何かの変化が生じているものと思われる。SO4イオンは、上流から下流までほぼ変化せず、NO2イオンも横ばいである。NaイオンもClイオン

と同じ傾向を示している。

この理由として考えられることは、NaイオンやClイオンが尿尿処理などに顕著な増加を示すことが知られており、この河川に泳いでいる鯉が原因ではないかと思われる。観測点No.2からNo.3の間でイオンが減少するが、この区間の河床勾配は緩やかで、比較的魚などが生息しやすい場所で、実際に、鯉が多数観測された。鯉の汚物が下流域で増加し、そのためにClイオン等が増加している可能性が高いと思われる。Ca, Mgの増加についてはこうした魚のえさが起因しているのではないかと推測される。

(2) 炭設置の効果

炭の設置方法は、収穫ネットに炭を入れ、流下方向に直角にロープで固定する方法による。

炭設置による効果を表-3に示す。

表-3 炭設置によるpH, EC, COD, SS, DOの変化表

	pH	EC	COD	SS	DO
炭設置下流	7.81	285	0.50	5.30	5.91
炭設置上流	7.75	300	2.60	6.30	5.95

表から、pHはほんの少しだけアルカリになったがほとんど変わらない。溶存酸素は、炭設置上流と下流とでほとんど差がみられない。ECは設置直後で10%の減少、3日後で10%の減少、設置10日後で10%の減少した。CODは炭設置3日後でかなり減少し、10日経過後でも10%減少し、SSは設置3日経過後で10%減少した。

図-4に溶存イオン濃度の変化の図を示す。図から、各溶存イオン濃度は設置直後でClイオンの減少が大きく、次に、SO4イオン、NO2イオン、Naイオン、Kイオン、Mgイオンの順で減少したが、Caイオンでは変化がなかった。河川流量が0.3m³/s程度で、炭が200kg程度での効果は、イオン量で10%程度減少が見込めた。また、NO2イオンやKイオン及びMgイオンは5mg/lと水中に含まれる量が

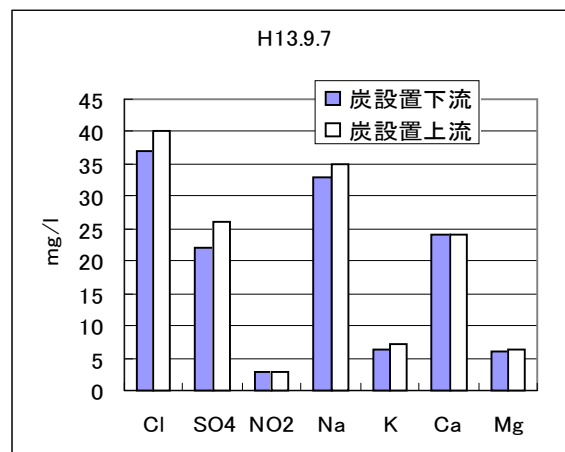


図-4 炭設置による溶存イオンの変化

少なく、こうしたイオンでは量的な吸着効果がそれほど明確ではないと思われる。

(3) 新たな炭設置方法

これまでの炭ネットによる設置方法では、流下してきたゴミがネットにかかり美観上問題があった（写真-5）。また、ネット表面にヌルなどが付着し目詰まりを起こし、炭の吸着効果を低減していることも1年間の観測結果から明らかとなった。このため、美観と効果持続に配慮した新たな炭設置方法（写真-6）を考案した。このカゴは、花があるプランターの下に水に接するように炭が入れてある。通水断面も確保され、景観的に効果があったと思われる。近くを通る市民の方々にも興味を持っていただけるようになった。

5. まとめ

この研究活動では、炭循環による河川浄化活動を取り上げ、その実際について、水質観測結果から、報告してきた。

間伐—河川浄化—土壌改善のプロセスは、ゼロエミッション活動として展開が可能なプログラムであることが、高校生の活動を通してはっきりとしてきた。また、この一連の活動が、地域活動として多くの機関（日光森林管理署、市役所、河川愛護会、小中学校、商店会、マスコミ）により協同活動として実施されてきた。そして、環境普及活動として、環境紙芝居などによる教材としても有効な方法であることも、これまでの活動から明らかとなってきている。流域という断面から、地域の力で、自分たちの活動としてでき、さらに、アップサイジング活動として、雇用の創造や町づくりなどにも発展・寄与する活動になることが期待される。

最後に、この活動には（財）河川環境管理財団の援助があったことをここに記して感謝したい。



写真-5 これまでの設置方法
（ゴミまみれの炭）



写真-6 河川に花がある炭浄化風景

参考文献

- 1) 榎本雄太，阿部真樹，小坂陽介，日向野恒平，小島晋：炭循環によるゼロエミッション活動とアップサイジング構想，土木学会関東支部栃木会研究発表会要旨集，pp53-60, 2003. 1
- 2) 糸川高德，相原良孝，滝沢健司，鈴木洋一，渡邊康弘，大橋照正：「総合的な学習の時間」に対応した流域内学校間連携による河川浄化の試み，第30回環境システム研究論文発表会，2002. 10
- 3) 岸本健吉：炭，創森社，1998
- 4) 糸川高德，長谷部正彦：樹木成長に及ぼす酸性化土壌イオンの影響，京都大学防災研究所，水資源セミナー講演集，pp27-37，1999.