



Title	公益価値を加味したケナフの環境浄化機能の評価
Author(s)	青井, 透
Description	第9回衛生工学シンポジウム（平成13年11月1日（木）-2日（金） 北海道大学学術交流会館） . 2 環境保全 . 2-8
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 122-127
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7156
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-2-8_p122-127.pdf



2-8

公益価値を加味したケナフの環境浄化機能の評価

群馬工業高等専門学校環境都市工学科 青井 透

1.はじめに

今年7月の平均気温は、わが国観測史上一番の暑さであったと報道されている。群馬県は内陸に位置するので夏の暑さは厳しく、前橋気象台では7月24日には40.0℃の最高気温を記録したが、これも県内では観測史上一番の記録となった。地球温暖化の速度が加速されたのではないかと思ったりするが、実際はどうなっているのだろうか。

さてケナフは成長の早い一年生の熱帯性草本で、幹の材質が木質であるために、温暖化防止や森林資源の保護に貢献するとされ広く認知されつつあるが、ケナフの効果については、否定的な意見を含めていろいろな議論が巻き起こっている。ところで、議論のためには正確なデータが必要であるが、ケナフに関しては十分なデータが提供されているとはいえず、"群盲象を撫ず"の例にあるように主観的な議論となる場合も少なくない。

私は水の浄化が専門の一研究者であるが、植物による水の浄化の過程でケナフと遭遇することになり、水耕栽培と露地栽培の両面から育成と効果、利用技術の検討を進めており、高専内の各場所や県内複数の場所でケナフの栽培を実施(写真1は高専内ため池での水耕栽培、写真3は林牧場)し、汗を流して単位面積収量の測定や収穫後のローカルな地域循環の可能性等を考えているので、その成果の一部を紹介させていただく。

2.環境浄化に対するケナフの役割

ケナフによる環境浄化は、大きく地球温暖化防止のための二酸化炭素吸収と、水質汚濁防止のための栄養塩の除去の二つが期待される。温暖化防止の効果については、既にいろいろな議論が進められているが、成長が早くて単位面積収量が高く、回収したケナフがいろいろな利用に供される場合にはじめて、温暖化防止の効果が発揮されることになる。利用技術の展開が望まれるのは、そのためである。

ケナフが露地と同じように、水耕でも良く育成することは、あまり知られていないが、ケナフが持つ大きな特徴である。日本の主要都市の上流には、雑排水で汚濁した無数の中小河川があり、BODのような有機物の他に、窒素・リンなどの栄養塩の除去が急務であるが、特に首都圏の水がめである群馬県(利根川流域)では、河川水中の窒素濃度が異例に高い

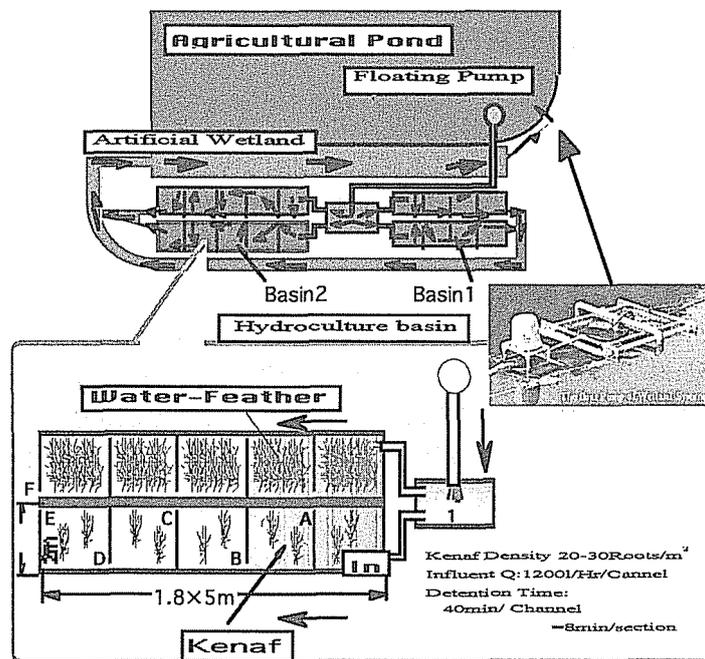
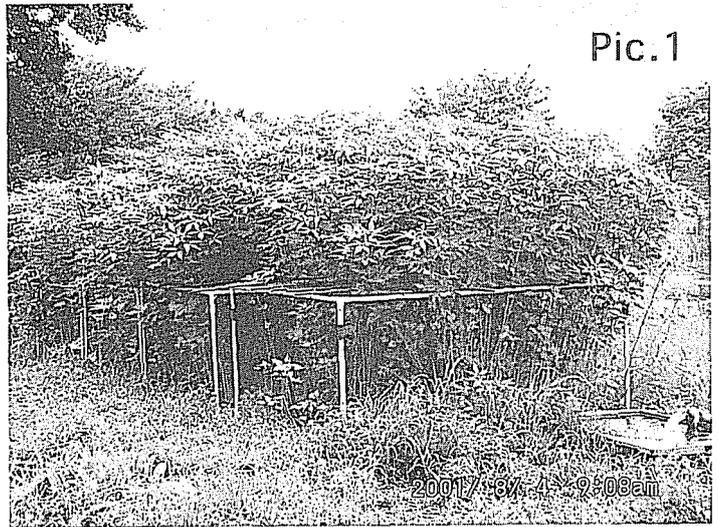


Fig. 1 Ground plan of kenaf Hydroculture system

表1 群馬高専ため池における水耕栽培と人工湿地試験設備の概要

No.	Basin name	Lm*Wm	gradient	S(m ²)	V(m ³)	D.T(min)
1	Hydroculture basin1	7.2mL*4mW	26%	28.8	1.44	40
2	Hydroculture basin2	9mL*4mW	12%	36	1.8	50
3	Artificial Wetland	35mL*1.7(1.3)		52.5	5.83	80

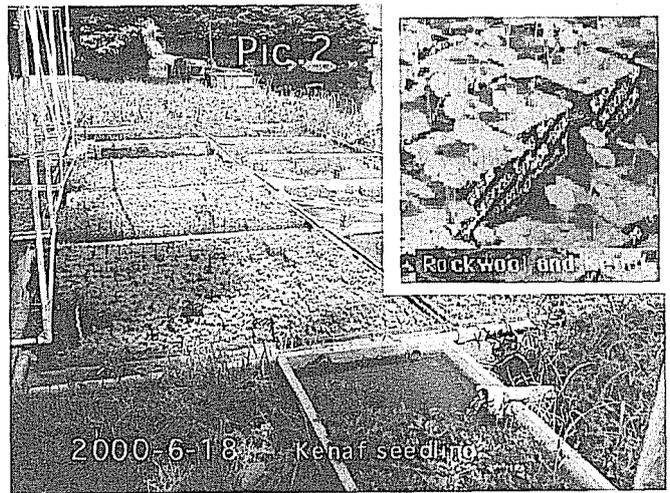
(前橋上流でT-N 2mg/l 以上、首都圏に分水される利根大堰の冬期T-N濃度は 8mg/l にも達する)ことが当研究室の調査でわかっているが、この高い窒素濃度由来の一つは、首都圏から南西風によって運ばれてくる窒素酸化物であると想定される。将来の利水を考えると、下水道の普及は利根川の窒素濃度を引き上げる方向に働くので、利根川の栄養塩濃度をより削減する努力が必要である。群馬県の水源地帯は同時に畑作や畜産振興の側面もあり、常に過剰の窒素・リンが利根川に流れ込む条件になっているので、水耕栽培に限らず畑でケナフを栽培することにより、過剰の窒素・リンを吸収固定することも、水質浄化の有効な手段となる。ケナフは、栄養塩濃度が高ければより高い成長を示すので、過剰栄養の農耕地の適正化(クリーンアップクロップ)にも有効であると思われる。



Pic.1

3.ケナフによる水質浄化とケナフの収量

群馬高専の中には、生活雑排水で汚濁した農業用ため池があり、この水を用いたケナフ水耕浄化システムが稼働している。図1にその概要を示し、表1には各水槽の仕様を示した。写真1に、今年8月初めの水耕ケナフを示した。購入したケナフの種をロックウールに播種しロックウールをキャンバスシートで作った浅い水耕栽培池(写真2)に水をかけ流すと、流入水中の栄養塩を吸収してケナフは生長する。溶存無機態窒素濃度が 0.5mg/l 以上であれば、ケナフは最大生長を示すことが知られている。図2には、ケナフ水耕ベッドでの窒素、リンの除去の一例を示した。滞留時間は50分と短いが、直線的に吸収除去されている。



Pic.2

ケナフは1年生草本のために、初冬の霜により枯れるので、ほぼ成長が終了した時期に、各栽培池のケナフ本数と個体重量を同時に計測し、単位面積収量を計算した。同時に栄養条件の異なる高専内各場所や赤城山南麓の農場(林牧場;写真3:大規模成育試験)で露地栽培を実施したので、同様に各栽培場所でケナフの本数・栽培面積・個体重量(地上部分)を測定して、ha当りの収量(乾燥重量・収穫状態なので枝葉は含まない)を算出した。その結果を表2・表3に示した。ケナフは栄養摂取型の植物なので肥沃な(窒素・リンが多い)場所・水ほど高い収量と

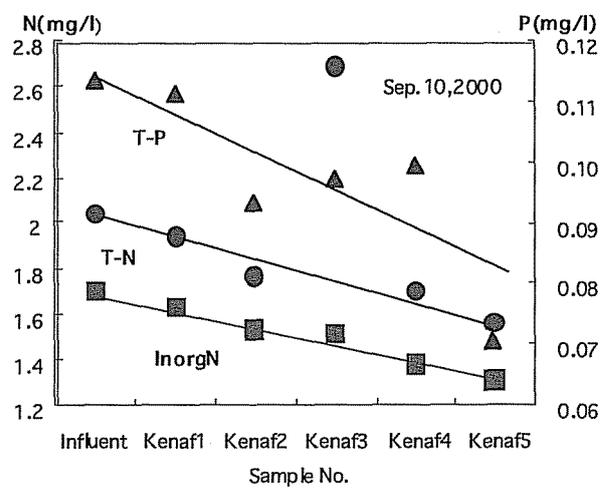
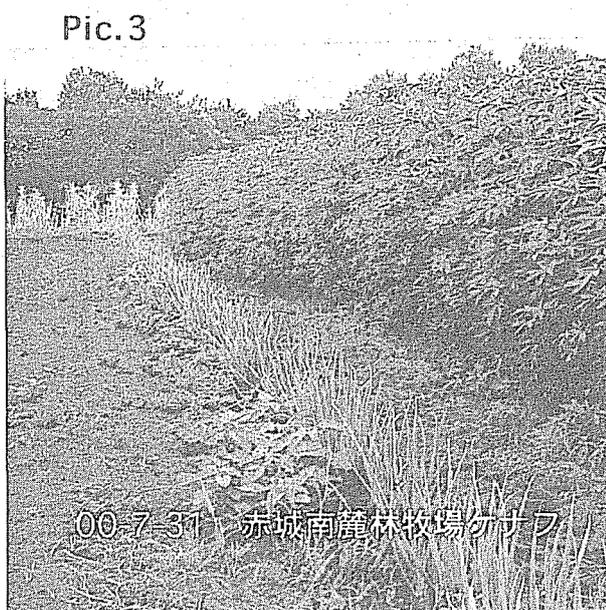


図2 水耕栽培ベッド2における各栄養塩の除去

なる。露地栽培では、もっとも肥沃な畑で40t、痩せた場所では3tと幅が大きい。水耕の場合には、ロックウールの移動により自由に栽培密度を変更できるので高い収量を得ることができる(最大で110t、最小で14t)が、転倒防止の支柱が必要であり労力も必要となる。

4.回収したケナフの原材料としての諸性質

ケナフが環境浄化に貢献できるか否かは、回収したケナフの利用可能性にかかっている。ケナフは草本では珍しく木質系であるので、各種の利用可能性が予想される。そこで木質におけるケナフの位置づけを明確にするために、乾燥及び炭化時の密度の比較を実施した。また広葉樹に替わるキノコ培地に利用できるので、安全性の確認として重金属濃度についても測定した。また自己融着性のボード製造の可能性もあるので、リグニン・セルロース等の組成についても測定した。



4-1.ケナフと各木材との密度・灰分の比較

群馬県林業試験場の協力により、県産木材を中心に各種の木材テストピースを受領し、乾燥後の重量と寸法測定を実施して乾燥後の密度を測定し、さらにテストピースをアルミホイルに二重に包んで450℃・2時間マッフル炉で乾留し、同様に炭化後の重量と寸法を測定して密度を計算した。さらに600℃で燃焼させて灰分を測定した。その結果を表4に示した。アピトンはトラックの荷台等に利用されている堅い南洋材であり、バルサは模型飛行機の

構造材に使用される極めて軽量の木材である。アピトン・バルサを除いたその他の木材は全て県産材である。木材で軽いとされるキリの乾燥後密度は0.185、またバルサは0.128であったが、ケナフの密度は0.105であり、比較したどの木材よりも軽いことがわかった。測定に用いたケナフコア(芯)は、肥沃な農地(林牧場)で栽培して頂いた、径の太いケナフ幹を切りだして試料とした。ケナフの灰分は、草本の属性なのか乾燥後で4.25%であり、どの木材よりも高い含有率を示した。

4-2.ケナフの構成成分の測

表2 高専内水耕ベッドでのケナフ収量(乾燥) 一覧

採取場所	面積(m ²)	密度(本/m ²)	収量(t)	収量(t/ha)
西湖水耕栽培ベッド1	2.0×1.77	21.2	0.027	75.4
西湖水耕栽培ベッド2	2.0×1.74	25.9	0.032	92.0
西湖水耕栽培ベッド3	2.0×1.77	20.1	0.025	71.4
西湖水耕栽培ベッド4	2.0×1.72	31.4	0.038	111.7
西湖水耕栽培ベッド5	2.0×1.78	20.5	0.026	72.9
西湖水耕ベッド全体	2.0×8.78	23.7	0.148	84.5
長水耕栽培ベッド全体	0.8×23.65	62.3	0.063	33.1
浄化槽横水耕栽培ベッド	6.15×2.62	32.3	0.023	14.1

注:栽培密度は、西湖水耕で20-31本/m²、長水耕では45-100本/m²の幅である

表3 高専内及び林牧場での露地栽培ケナフ収量(乾燥) 一覧

採取場所	面積(m ²)	密度(本/m ²)	収量(t)	収量(t/ha)
西湖南岸(東側)	2.5×1.7	11.1	0.012	28.0
西湖南岸(真中)	2.7×2.0	11.5	0.016	30.3
西湖南岸(西側)	2.3×3.0	10.9	0.010	14.5
西湖南岸路地(平均)				23.1
専攻科棟裏(フェンス際)	47	3.7	0.066	14.0
専攻科棟裏(手前側)	113	1.8	0.035	3.1
専攻科棟東路地	14.5×1.5		0.030	13.6
林牧場 1	55×4	10	0.880	40.0
林牧場 2-1	60×8	8	1.152	24.0
林牧場 2-2	15×8	4	0.144	12.0
林牧場 3	20×10	8	0.640	32.0
林牧場 4	28×24	4	0.188	2.8

定

高専で栽培したケナフと柳の幹(コア)中のセルロース・ヘミセルロース・リグニンを、東大生産研・鈴木研究室で分析して頂いた(繊維分析はNDF-ADF-ADL法;表5)。ケナフコアのセルロース含有量は50.4%、またヘミセルロースは12.2%、リグニンは11.4%であり、柳コアよりもセルロースが約10%低く、リグニンも低く、ヘミセルロースが高い値を示すことがわかった。この組成の特徴が、ケナフボード製造時の自己融着性能に大きく影響しているものと思われる。

4-3.ケナフコア及び靱皮の栄養塩濃度

高専の浄化槽処理水水耕ベッド(N,P濃度が高い)および露地で栽培したそれぞれのケナフを用いてコア及び靱皮部(皮の部分)それぞれの窒素・リン酸(P₂O₅)・カリ(K₂O)成分等を測定した(表6)。窒素・リン・カリともコアよりも靱皮部の含有率のほうが高いことがわかる。

4-4.ケナフ各部の重金属濃度

ケナフコアチップが、おがくず菌床法のキノコ培地として広葉樹の代替えとなることわかっているため、各栽培条件各部分のケナフ中の重金属成分を測定した(表7)。ヒ素(As)を除いては各金属成分とも、靱皮により高く含まれることがわかった。コア(芯部)をキノコの培地に使うことは、全茎を用いるよりも低い成分濃度となり好都合と思われる。

5.ケナフの生態系攪乱の検討

播種し成長したケナフの種が、翌年発芽し自生することにより、周辺の自然生態系を攪乱する危険性が議論されているので、本高専で成長したケナフを立ち枯れさせ、翌年春に採種して発芽試験を実施した(表8)。ケナフの種は、未熟なうちは茶色で熟すと黒くなると思われるので、採種した種を黒と茶に分別し、黒くて重量のあるものを外観検査合格とした。採種した種のうち、外観検査に合格した割合は、露地ケナフで46%、水耕では26%であった。外観検査に合格した露地ケナフの黒い種を次

表4 ケナフと各木材の密度、灰分、炭化収率の一覧

木材種類	含水率	密度		炭化収率	灰分%	
	%	乾燥後	炭化後	%	乾燥後	炭化後
ケナフ	10.14	0.105	0.065	33.9	4.25	12.5
アビトン	10.28	0.758	0.418	32.2	1.04	3.2
ヒノキ	12.37	0.481	0.194	32.5	0.43	1.3
ブナ	9.94	0.562	0.355	27.2	0.64	2.4
キリ	10.27	0.185	0.087	31.3	1.46	4.7
ナラ	10.61	0.719	0.341	29.6	----	----
サワラ	11.52	0.255	0.223	31.6	0.14	0.2
カラマツ	7.73	0.565	0.131	17.1	0.18	1.1
スギ	11.22	0.345	0.120	31.2	0.36	1.2
タモ	10.61	0.437	0.172	28.8	0.48	1.7
バルサ	8.53	0.128		26.7	0.35	1.32

注記:ケナフ・バルサ以外の木材は、県林業試験場から支給を受けた、斜体は輸入材
ケナフは当研究室で育成したものをを使用した、バルサは模型店で購入した
炭化は試料をアルミ箔に二重にくるみマッフル炉を用いて450℃、2時間乾留した

表5 ケナフの成分組成の一例(%)

試料	セルロース	ヘミセルロース	リグニン
ケナフコア	50.4	12.2	11.4
ケナフ靱皮	58.9	2.3	10.6
柳の幹	60.5	8.5	15.4

注記:分析は東京大学生産研・鈴木研究室による
各試料は高専内で育成したものである

表6 高専で栽培したケナフ各部分の栄養塩組成の一例

栽培条件	試料名	窒素	P2O5	K2O	低位発熱量	高位発熱量	採取時期
		%	%	%	Cal/g	Cal/g	
浄化槽処理水 (水耕栽培)	コア	0.33	0.08	0.63	4140	4449	96年冬
	靱皮	0.53	0.23	0.94	3898	4727	"
ため池土手 (露地栽培)	コア	0.31	0.07	0.82		4350	98年冬
	靱皮	0.63	0.11	1.08		4050	"

注記:葉および葉柄の部分は分析していない。

表7 各栽培条件・各部分のケナフ中重金属濃度測定結果の一例(mg/Dkg)

部分	n	栽培方法	Hg	Cd	Pb	As	Cu	Zn	Fe	Mn
コア	7		0.000	0.146	0.84	0.044	3.8	17.2	13.6	6.1
靱皮	7		0.010	0.314	1.27	0.002	4.6	28.0	69.5	28.1
コア	5	露地	0.000	0.164	0.74	0.048	4.1	16.2	13.3	5.7
	2	水耕	0.000	0.100	1.10	0.035	2.9	19.6	14.2	7.2
靱皮	5	露地	0.009	0.392	1.26	0.003	5.1	27.4	66.5	23.9
	2	水耕	0.012	0.120	1.30	0.000	3.3	29.5	76.8	38.7

に水に入れて、沈んだもののみを発芽試験に供した。試験での発芽率は、外観検査ベースで15%(購入したケナフ種の発芽率は82%)であったので、採種全体では7%程度となる。ケナフ

表8 群馬高専で採取したケナフ種の発芽試験結果(2000年4月)

種の履歴	外観検査合格 (黒いもの)粒	水に沈むもの (発芽試験に使用)粒	発芽したもの 粒	発芽率(%)	
				外観検査ベース	水に沈むものベース
高専露地栽培 ケナフ種	200	123	30	15	24
対照:購入種 (鹿兒島ケナフの会)	110	100	90	82	90

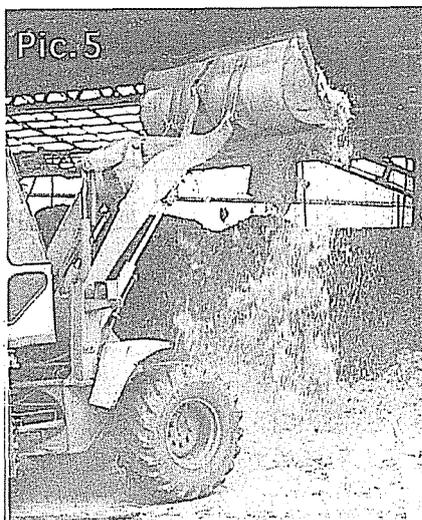
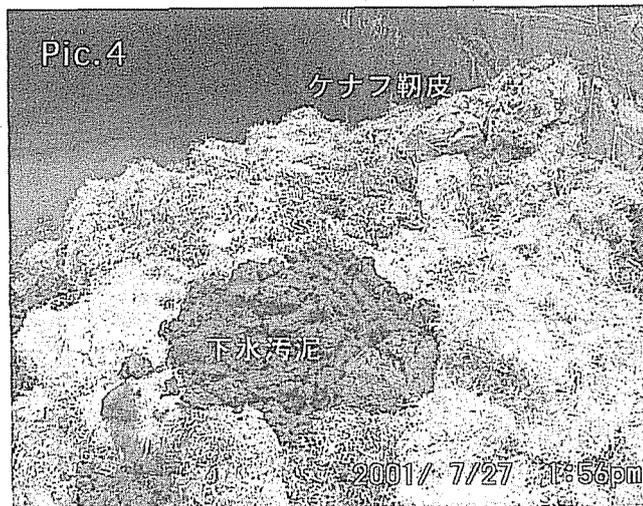
- ・高専露地ケナフ種には未熟の白い種と熟している黒い種があり、採取した種の中で黒い種の比率は46%であった
- ・ケナフは立ち枯れしたまま4月に種を採取し、発芽試験は4月17日から明るい室内で実施し24日に発芽数を調べた
- ・発芽試験は、プラスチックトレーにティッシュを敷き、その上に蒔いてさらにティッシュで覆って水やりした

の発芽温度は20℃以上(関東地方では5月中旬以降)とされているので、自然の条件下では仮に発芽したとしても、既に成育している雑草(温帯性)との競合に競り勝たないと成育できない。実際に高専内では数千粒の購入種をばらまきしてみたが、成育したものは皆無であった。露地でケナフを育てるためには、如何に除草作業が大変かは経験してみるとよくわかる。ケナフは栽培植物であり人為的な保護の元で初めて成育するものであり、自然生態系攪乱の可能性はないといえる。

6.緑化基盤材利用への検討

校内及び校外各地で栽培したケナフは、高専に持ち帰り冬季間自然乾燥させた後に、コマツゼノア社製チョッパーシュレッダー(SR110)で破碎し、その後1cmメッシュのふるいでふるい分けしフルイ上を繊維、フルイ下をコアチップとした。繊維長さの平均は4~6cmであった。強靱なケナフ繊維は発芽阻害性が無いことが、本研究室の実験でわかっている。下水汚泥等と混合発酵させることにより、発芽性が良好で保水性および肥効分があり付着性の強い緑化基盤材が製造できる可能性が高い。

そこで、実際に緑化基盤材を製造している工場の協力により、チョッパーシュレッダーで製造したケナフ繊維と下水汚泥を混合させ通気性のある袋(1m³容量)で、緑化基盤材の製造試験を実施した。写真4~7



にその製造試験過程を示した。ケナフ繊維と下水汚泥の混合割合は、乾燥重量比で1対1及び2対1で配合した。現在発酵中であるので、引き続き検討を続けていきたい。ケナフ繊維の付着性と高い発芽能力の特質を生かすと、従来の基盤材とは異質の特徴ある製品が期待できる。緑化基盤材としての利用は、前処理が簡単で大量に利用できることから、ケナフ普及のために有効と思われる。



回収した幹をチップ化し、おがくず菌床キノコ(ヒラタケ、アワビタケ等)に広葉樹100%置換で利用できることは確認済みである。またケナフ幹から製造した活性炭の性能が市販活性炭並に良好で水の浄化に利用できることも既に示した。紙の原料になることは良いことであるが、回収の手間を考えると、簡単な処理で大量に利用できる用途が望まれる。ここに示した緑化基盤材やキノコ菌床のように、地域で使える資材としての用途が、当面利用の実現性が高いものと思われる。

7.まとめ

ケナフは一時のブームを終了し、冷静な視点で再評価の時期に来ているが、群馬県のような水源県では、利根川の水質改善や地球温暖化防止等に、他の草本とは異なった適用可能性が依然として存在している。

最近、公益的価値とか公益的機能(対価が支払われないため、その価値が直接判らない)という用語が用いられているが、回収したケナフの循環利用が実用化されれば、ケナフのもつ公益的価値はさらに向上することになる。転作作物への補助金や二酸化炭素排出権取引による収入等の制度的バックアップも受けながら、地域での定着化を図ってゆきたい。

ここに示した調査結果は、多くの本研究室及び学科の学生諸君、教職員の皆さまと、発足して間もない"ぐんまケナフ研究会"会員の協力の賜物である。多くの汗を流したが、歴史の長い米作と異なり全く機械化されていない現状では、効率が悪いのはやむを得ないことである。用途開発の道が開かれ、省力化されることが期待されている。尚本研究の一部は「(財)クリタ水・環境科学振興財団」の研究助成を受けた。また緑化基盤材の製造試験には、日本リサイクル緑化協会並びに上毛緑産工業(株)に多大な協力を頂いた。そのほかにも県林業試験場、東大生産工学研究所、(株)林牧場をはじめとする多くの方々にお世話になったので、合わせて感謝申し上げます。

参考文献

- 青井 透(2000.7)Studies of water pollution control by kenaf planting(ケナフによる水質浄化)
Proceedings of International KENAF Forum,A.D.2000,非木材紙普及協会, pp77-80
- 横田和人、青木勇太郎、青井 透(2000.9.30)1年生草本ケナフ幹からのキノコ製造試験報告書、財団法人
クリタ水・環境科学振興財団助成報告書、3p
- 青井 透(2000.10.14)環境浄化に対するケナフの役割、広島ケナフの会Kenaf 2days in やすうら、pp7-9
- 青井 透(2000.12.1)上流域における水生植物による水環境の浄化、環境施設、No.82,pp74-78
- 池田正芳、阿部 聡、青井 透(2001)西上州烏川・鑄川水系における著しく高い窒素濃度の現状、第9回北大
衛生工学シンポジウム論文集(投稿中)