自然再生を目指した本明川の健全度に関する研究

太田貴史*・岩吉政輔**・田英幸***・
野口正人***・西田渉***・鈴木誠二***

Evaluation of soundness in Honmyo River aimed at the nature restoration

by
Takafumi OTA*, Masasuke IWAYOSHI**, Hiroyuki TA***
Masato NOGUCHI***, Wataru NISHIDA***, Seiji SUZUKI***

Recently, improvement project of river environment aiming at nature restoration is spreading. The water quality purification utilizing the potential of nature is expected. It is well known that aquatic vegetation decreases pollutants in water. It is supposed that efficiency of water quality purification is improved if the phisico-chemical and biological water quality index and ecosystem of water body are in good condition. In addition, overall grade considering an ecological figure becomes important as well as the well known water quality indices. In this study, the soundness of the Honmyo River in Nagasaki is evaluated by comparing to observed data of the water purification facility and comprehensively evaluating those conditions.

Key words *: soundness of Honmyo River, nature restoration, efficiency of water quality purification , aquatic vegetation*

１．はじめに

近年,健全な水環境の達成のために各地で自然再生を目的とした河川環境整備が行われている.諫早湾調整池に流れ込む長崎県唯一の一級河川である本明川下流域において,自然再生をも視野に入れたヨシ原ウェットランド再生事業(以後,水環境整備水域という)が行われている.諫早湾調整池の慢性的な富栄養化が懸念される中で,自然営力を利用した水質浄化には大きな期待が寄せられている.自然営力を利用した浄化能力を促進させるために,その効果を定量的に評価する必要があるが,様々な事象が複雑に絡まりあっていることから容易ではない.河川の水環境は,物理的･化学的な現象だけでなく,動植物の作用や,周辺住民の活動や意識に大きく依存するためにBODやT-N,T-Pなどの理化学的水質指標だけでは簡単に評価することができない.そのため,河川の水環境を総合的に評価しうる評価手法の確立が望まれている.

そこで,本研究では本明川の水環境整備水域を対象とし,理化学的水質指標に加え,健全な物質循環が達成されるための自然環境や,周辺住民の活動に着目し,総合的に水域の健全度を評価することを目的とする.

平成 19 年 12 月 17 日受理

* 大学院生産科学研究科博士前期課程環境システム工学専攻
（Graduate student, Department of Environmental Systems Engineering）
** 前田建設工業（Maeda Corporation）
*** 社会開発工学科（Department of Civil Engineering）

2．検討対象区域の概要

本明川(半造川合流箇所)環境整備の事業概要を Fig.1[1)] に示す.半造川合流部から下流にかけて(約600m)本川右岸側に現況の高水敷を掘削し,水みちおよび,ヨシ原植栽帯が建設された.ここで,斜線部は環境整備の掘削箇所を示している.掘削域の流入口は,本明川合流部前の半造川に位置し,流出口は本明川に接続する.掘削域の水みちの平均水深は約 0.3m, 植栽帯で約 0.1m であり,本明川本川と比べて非常に浅くなっている.

3．現地観測結果

本明川(半造川合流箇所)における整備前 2006 年 9 月 27 日,整備後 2007 年 6 月 6 日,9 月 28 日,10 月 23 日の

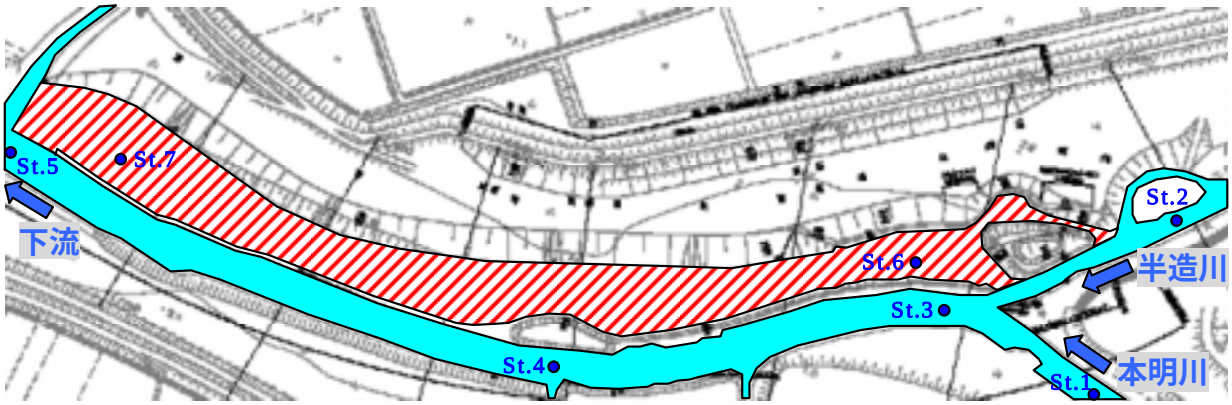


Fig.1　半造川合流箇所平面図

Table 1　2006 年 9 月 27 日　水質観測結果

観測箇所	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5
T-N	0.90	4.64	3.02	2.29	1.88
T-P	0.091	0.232	0.199	0.169	0.158
BOD					
SS	5	1	6	5	5

Table 2　2007 年 6 月 6 日　水質観測結果

観測箇所	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
T-N	1.35	4.34	3.00	3.23	2.92	3.65	2.52
T-P	0.140	0.436	0.262	0.280	0.248	0.479	0.319
BOD	1.0	1.3	1.6	1.3	3.2	4.5	1.6
SS	9	6	18	12	28	35	29

Table 3　2007 年 9 月 28 日　水質観測結果

観測箇所	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
T-N	0.88	4.39	2.17	2.81	2.23	3.93	1.57
T-P	0.135	0.428	0.230	0.343	0.322	0.571	0.363
BOD	1.2	1.2	1.1	1.6	1.3	1.4	3.1
SS	9	12	13	10	16	39	58

Table 4　2007 年 10 月 23 日　水質観測結果

観測箇所	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7
T-N	0.57	3.80	2.98	2.96	2.61	3.51	3.03
T-P	0.113	0.326	0.271	0.221	0.221	0.322	0.283
BOD	1.5	3.8	2.3	2.1	1.7	1.9	2.6
SS	6	4	6	7	34	54	83

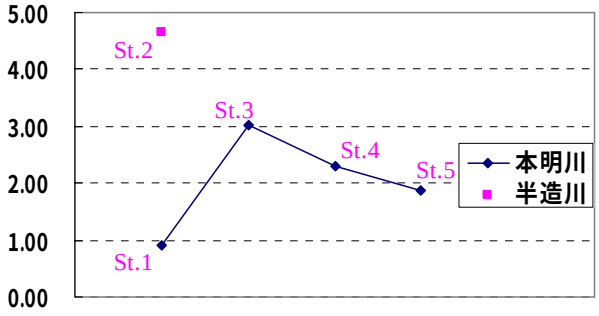


Fig. 2　2006 年 9 月 27 日の流下方向 T-N 濃度変化

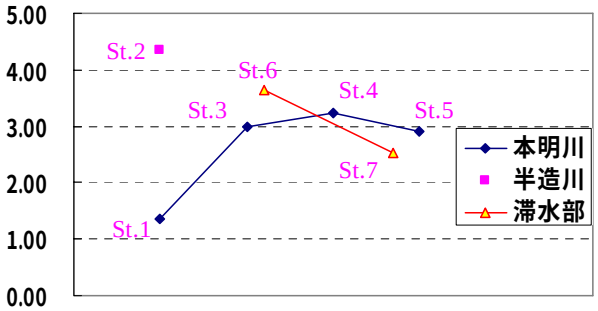


Fig. 3　2007 年 6 月 6 日の流下方向 T-N 濃度変化

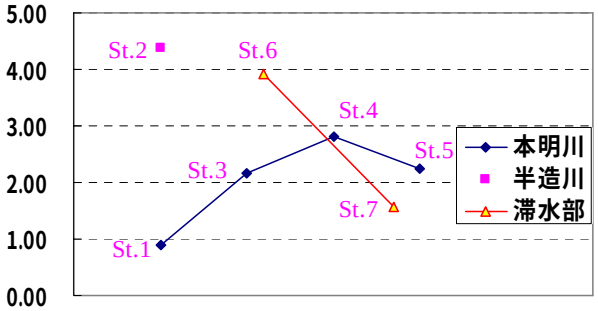


Fig. 4　2007 年 9 月 28 日の流下方向 T-N 濃度変化

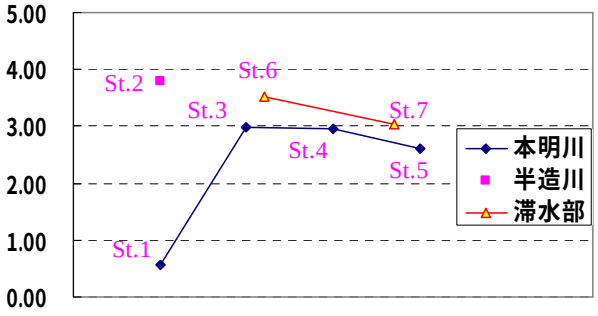


Fig. 5　2007 年 10 月 23 日の流下方向 T-N 濃度変化

T-N,T-P,BOD,SS の水質現地観測結果を **Table 1〜4** に示すとともに, **Fig.2〜5** に流下方向の T-N 濃度変化を示す.観測地点の St.1〜7 は **Fig.1** に示されたとおりである.

これらの図より明らかなように,たとえば T-N 濃度を例にとれば,本明川の本川に対して半造川の水質は非常に悪いことがわかる.対象水域では本川と支川とが合流し,流下とともに混合･希釈されている.本川での水質を流下方向に見れば,この傾向は整備前後で同様に観測された.ただ,St.3 と St.4 の中間に位置する本明川左岸には西長田樋管があり,その排水の影響をも受けて水質が変化している.なお,2006 年 9 月 27 日の観測の際には,横流入量が無かったことを確認している.一方,滞水部の St.6 の水質は本川と支川との河川水を混合したときのものである.整備後に測定された 3 回の結果では,滞水部において St.7 まで流下する間に水質が変化した状況は大きく違っている.滞水部における水質変化に関しては次節で考察する.

次に,2007 年 10 月 10 日の植生調査結果を **Fig.6** に示す.対象としている水環境整備水域ではヨシを代表とするイネ科の植物が多く観測された.このような場では,魚類や鳥類などの生物のために良好な棲息基盤となる河川環境を実現することが重要である.鳥類調査の際には,チドリ目,コウノトリ目,ガンカモ目などの水辺の種,スズメ目などの草地の種をそれぞれ多く観測することができた. **Photo 1,2** に観測された鳥類の一例を示す.水質の観測とともに生物調査をも同時に続けていく必要がある.

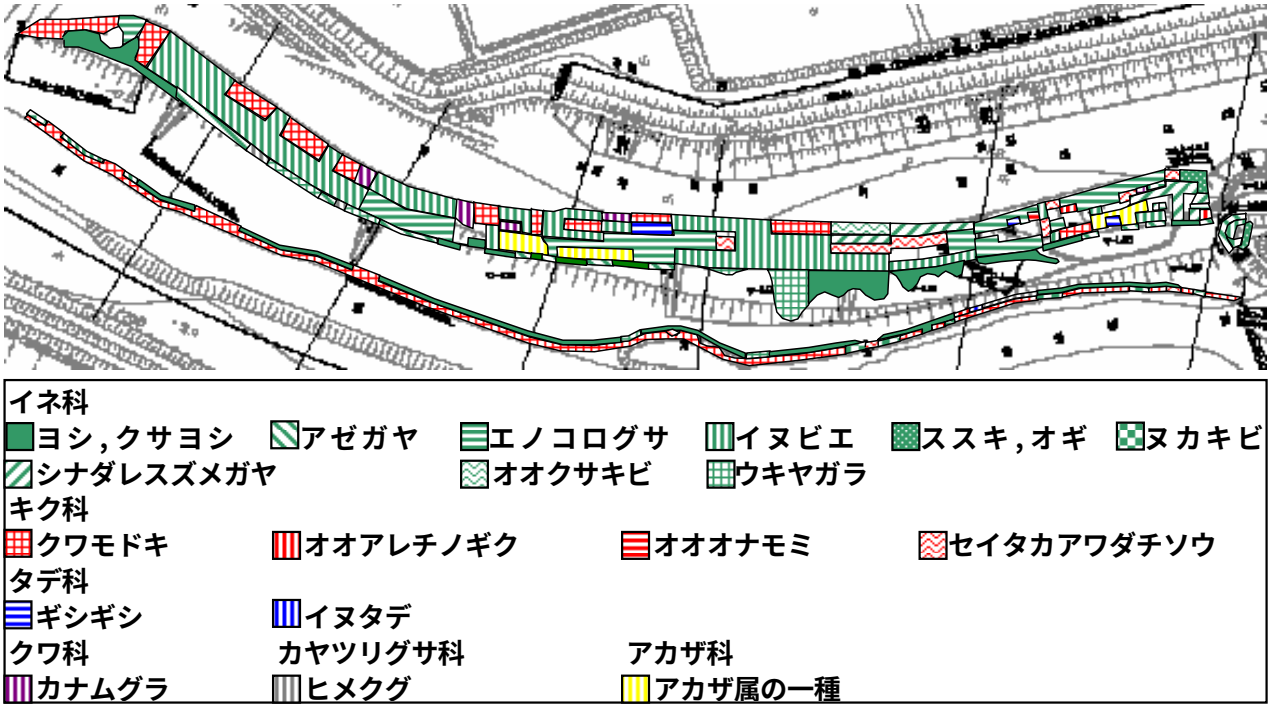


Fig. 7 2007 年 10 月 10 日植生調査結果



Photo 1 水面に着水するカモ



Photo 2 水辺に憩うセイタカシギ

４．環境整備箇所における汚濁除去効果

本章では,水質現地観測結果を用いて,汚濁除去効果の検討を行う.

滞水部における,水質浄化効率を評価するために,汚濁物質の濃度差,除去率,除去量に加え,分解速度定数: kを用いて総合的に評価する.分解速度定数: kの算出方法を以下に示す.

汚濁物質の分解除去が,一次反応に従うものとして,湿地内の流れが押し出し流れ(plug flow)により支配されているとすれば,基礎式は以下のように表される.

$$\frac{dC}{dt} = -k'C \qquad (1)$$

上式の解は $C=C_{in}e^{-kt}$ となり,湿地での滞留時間: $t_{det}=h/HLR$ を使って,次式が求められる [2].

$$C_{out} = C_{in}e^{-k't_{det}} = C_{in}e^{-k/HLR} \qquad (2)$$

ここに,C_{in},C_{out} はそれぞれ流入水,流出水の汚濁物質濃度(mg/l)であり,hは滞水部の平均水深(m),HLR は面積負荷速度(m/day)である.(2)式から,流入水濃度と流出水濃度との比,ならびに,滞留時間を用いて湿地での分解速度定数:k を計算することができる.

$$k = HLR \times \ln\left(\frac{C_{in}}{C_{out}}\right) \qquad (3)$$

今回行った現地観測では水深が浅いため流速を測定することが困難であった.そこで，滞水部流入地点における断面の流量を有限要素法を用いた数値シミュレーション解析により算出した [3].算出結果は **Table 5** に示す.

Table 5　流量の算出結果

流量(m3/d)	流量(m3/d)	流量(m3/d)
6942.3	7190.8	7013.7

Table 6 2007 年 6 月 6 日　滞水部の汚濁除去効果

	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
T-N	1.82	42	12.635	0.184
	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
T-P	0.12	27	0.812	0.106
	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
BOD	-0.30	-23	-2.083	-0.070

Table 7 2007 年 9 月 28 日　滞水部の汚濁除去効果

	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
T-N	2.82	64	20.278	0.361
	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
T-P	0.07	15	0.467	0.058
	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
BOD	-1.90	-158	-13.663	-0.333

Table 8 2007 年 10 月 23 日　滞水部の汚濁除去効果

	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
T-N	0.77	20	5.401	0.078
	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
T-P	0.04	13	0.302	0.048
	濃度差(mg/l)	除去率(%)	汚濁除去量(kg/d)	分解速度定数(m/d)
BOD	1.20	32	8.416	0.130

算出した流量及び,流入･流出汚濁濃度として St.2, St.7 の水質観測結果を用いて算出した濃度差,除去率,除去量,分解速度定数の結果を **Table 6〜8** に示す.

Table 6〜8 の結果から,特に T-N 濃度に関して 6 月に比べ 9 月の値が良くなっていることがわかる．この理由の 1 つとして 6 月に行った観測の際にはまだ滞水部に植生が生えておらず,9 月の際には植栽帯が整備されていたことが影響しているためと考えられる．**Photo 3,4** がその時の滞水部の様子である.一方,10 月の結果に関しては,6 月,9 月に比べ除去効果が減少しているが,これは対象としている滞水部の水深が小さいため,観測時に風の影響を受け,巻上げが起こったためであると考えられる.**Table 4** の SS の値も他と比べ高い値が出ている.また,これらの算出結果は滞水部の流量にかなり左右される値であるので,流量の算出をさらに検討する必要がある.

５．各浄化施設の汚濁除去効果

汚濁物質として T-N を対象とし,各浄化施設の汚濁除去効果との比較を行う.各浄化施設の汚濁除去効果として濃度差,除去率,除去量,分解速度定数の算出結果を **Table 9** に示す.また,**Fig.7** に分解速度定数 k＝0.01, k＝0.1, k＝0.2 のラインを入れた HLR(m/day)と



Photo 3　2007 年 6 月 6 日滞水部



Photo 4　2007 年 9 月 28 日滞水部

Table 9 各浄化施設の汚濁除去効果

浄化施設名	流入T-N濃度	流出T-N濃度	濃度差	除去率	汚濁除去量	HLR	$\ln(C_{in}/C_{out})$	分解速度定数
	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(%)	(kg/d)	(m/d)		(m/d)
The Sihwa Reed Wetland Park	15.5	11.5	4.0	25.8	138.240	0.102	0.298	0.030
アシ原浄化池(チャランケ川1)	6.6	6.3	0.3	4.5	0.026	0.393	0.047	0.018
アシ原浄化池(チャランケ川2)	7.1	6.7	0.4	5.6	0.035	0.436	0.058	0.025
アシ原浄化池(柏木川)	3.4	2.9	0.5	14.7	0.130	0.456	0.159	0.072
清明川浄化施設	1.8	1.6	0.2	11.1	0.147	0.525	0.118	0.062
相野谷川生活排水浄化施設	8.3	7.2	1.1	13.3	1.140	0.294	0.142	0.042
清明川植生浄化施設	2.8	2.4	0.4	14.3	10.714	0.705	0.154	0.109
土浦ビオパーク	2.4	2.2	0.2	8.3	1.434	2.109	0.087	0.184
山王川植生浄化施設	3.4	2.3	1.1	32.4	2.756	0.447	0.391	0.175
ヨシ原浄化施設	1.2	0.9	0.3	25.0	64.800	1.080	0.288	0.311
水元公園	5.6	4.3	1.3	23.2	0.056	0.052	0.264	0.014
河北潟生態系活用水質浄化施設	1.8	1.0	0.8	44.4	0.083	0.065	0.588	0.038
井上川浄化施設(きらり)	10.0	7.2	2.8	28.0	3.629	0.480	0.329	0.158
生態系活用木場潟水質浄化施設	2.3	1.6	0.7	30.4	0.036	0.129	0.363	0.047
諫早湾調整池(夏季)	2.3	1.6	0.7	30.4	0.010	0.483	0.363	0.175
諫早湾調整池(冬季)	0.7	1.4	-0.7	-100.0	-0.002	0.100	-0.693	-0.069
長田地区(夏季)	1.0	0.6	0.4	40.0	0.035	0.844	0.511	0.431
長田地区(冬季)	1.2	0.6	0.6	50.0	0.053	0.844	0.693	0.585
ヨシ植栽水路(夏季)	17.0	4.2	12.8	75.3	0.010	0.131	1.398	0.183
ヨシ植栽水路(冬季)	2.4	0.4	2.0	83.3	0.001	0.103	1.792	0.185
半造川合流箇所滞水部(6月6日)	4.3	2.5	1.8	41.9	12.635	0.339	0.544	0.184
半造川合流箇所滞水部(9月28日)	4.4	1.6	2.8	64.2	20.278	0.351	1.028	0.361
半造川合流箇所滞水部(10月23日)	3.8	3.0	0.5	13.7	5.401	0.343	0.226	0.078

*ln(Cin/Cout)*の関係を示す.

これらの結果をもとに各浄化施設における汚濁除去効果の採点を行う.暫定的に濃度差を 20 点,除去率を 25 点,除去量を 35 点,分解速度定数を 20 点満点と配分する.採点方法として **Table 9** の値をもとに点数の配分を行うものとし,特異な値に点数が引っ張られることを避け,代表的な値にばらつきを持たせるため平均値ではなく,中央値を用いて採点を行う.採点結果は **Table 10** に示す.

この結果から半造川合流箇所滞水部は非常によい値を示していることがわかる.しかしながら,自然再生事業が行われた箇所が健全な状態であるか単に理化学的水質指標だけで評価することはできない.そこで,対象とする水域がどれほど健全な状態であるのか,汚濁除去効果に加えて環境整備評価を行い,それを総合的に

Table 10 各浄化施設の汚濁除去効果の評価点

浄化施設名	濃度差	除去率	汚濁除去量	分解速度定数	合計
配点	20	25	35	20	100
The Sihwa Reed Wetland Park	17	12	35	5	69
アシ原浄化池(チャランケ川1)	6	6	8	5	25
アシ原浄化池(チャランケ川2)	7	6	9	5	27
アシ原浄化池(柏木川)	8	9	20	8	45
清明川浄化施設	5	8	22	7	42
相野谷川生活排水浄化施設	14	8	30	6	58
清明川植生浄化施設	7	9	32	10	58
土浦ビオパーク	5	7	30	15	57
山王川植生浄化施設	14	14	30	15	73
ヨシ原浄化施設	6	12	35	18	71
水元公園	16	11	11	4	42
河北潟生態系活用水質浄化施設	11	18	14	6	49
井上川浄化施設(きらり)	17	13	30	14	74
生態系活用木場潟水質浄化施設	10	14	9	7	40
諫早湾調整池(夏季)	10	14	6	15	45
諫早湾調整池(冬季)	0	0	0	0	0
長田地区(夏季)	7	16	9	19	51
長田地区(冬季)	9	19	11	20	59
ヨシ植栽水路(夏季)	20	24	6	15	65
ヨシ植栽水路(冬季)	17	25	5	15	62
半造川合流箇所滞水部(6月6日)	14	14	32	10	70
半造川合流箇所滞水部(9月28日)	17	22	34	18	91
半造川合流箇所滞水部(10月23日)	8	9	31	8	56

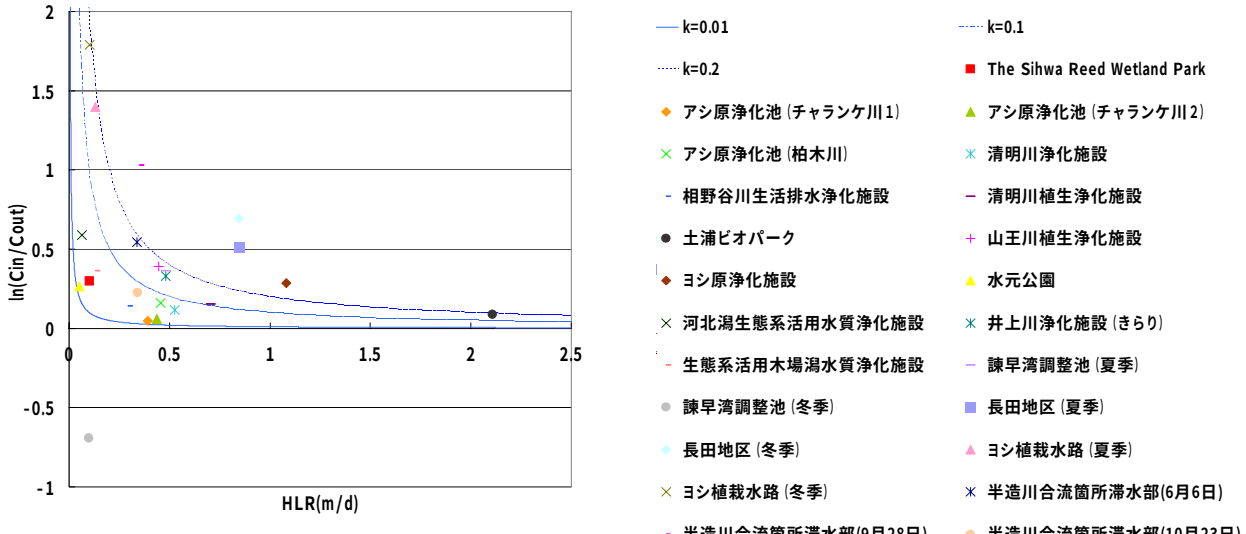


Fig. 7 分解速度定数(T-N)

評価することで対象とする水域での健全度の評価へとつなげていく.

6．環境整備評価

水環境整備水域において,汚濁除去効果を向上させるためには,生物にとって棲みやすい状態でなくてはならない.動植物の多様な棲息･生育空間を確保することで,健全な物質循環が行われるようになり,少なからず水質浄化の役割を果たすようになることが考えられる.同時に,健全な水環境の達成のためには,取り巻く環境にも十分配慮した整備を行い,浄化(環境)ポテンシャルを高めていかなくてはならない.よって,水域を取り巻く自然を豊かなものとする同時に,自然再生事業に対する周辺住民の十分な理解と積極的参加がなくては,真に健全な水環境は達成されない.

本節では,各浄化施設における浄化作用に関わる項目として,自然環境,住民参加,維持管理,工夫の 4 項目について評価を行った [4].これらの項目は,河川環境管理財団調べによる各浄化施設のアンケート調査 [5]にある項目を引用した.前節と同じように各浄化施設について項目ごとに採点を行う.

まず,暫定的に自然環境を 60 点,住民参加を 15 点,維持管理を 15 点,工夫を 10 点満点と配分する.自然環境項目は,前述したように,これが充実すると,生態系の充実につながり,浄化作用の促進につながると考えられるため配点の大半を占める.

採点方法は,それぞれの項目について採点基準を設けて行う.まず,自然環境項目について,植栽が充実していれば 20 点,対象水域が河川･湖の一部であれば 30 点,自然環境を創りだすための工夫を 10 点とし,写真なども考慮して相対的に加点,減点を行う.住民参加については,その浄化施設が公園施設(散策路有り)であれば 7 点,住民参加の活動の頻度を 8 点とする.維持管理については,表記されていない浄化施設もあったが,全く維持管理を行っていない施設はないと考えられることから,最低点を 5 点と定め,表記されている維持管理の内容と頻度を 10 点とする.工夫についても同じく,最低点を 3 点とし,表記されている内容を 7 点とする.その中でも直接的に浄化能力に関係しそうな内容を 5 点とする.これらのことを考慮し,採点を行った結果を **Table 11** に示す.

Table 11 から 9 月,10 月の半造川合流箇所滞水部の環境整備評価点が比較的良いことがわかる.これは,浄化施設としての水路と実際の自然の河川とを比較した結果から,自然環境項目の評価が高かったためであると考えられる.一方,6 月の半造川合流箇所滞水部の結果は,まだ植栽帯が整備されていない状態であったため自然環境項目の減点が評価を下げる結果となった.

Table 11　各浄化施設の環境整備評価点

浄化施設名	自然環境	住民参加	維持管理	工夫	環境整備(合計)
配点	60	15	15	10	100
The Sihwa Reed Wetland Park	55	7	5	8	75
アシ原浄化池（チャランケ川1）	40		10	6	56
アシ原浄化池（チャランケ川2）	35		10	6	51
アシ原浄化池（柏木川）	40		10	6	56
清明川浄化施設	35	10	5	6	56
相野谷川生活排水浄化施設	35	15	10	6	66
清明川植生浄化施設	55		6	4	65
土浦ビオパーク	40	13	15	4	72
山王川植生浄化施設	50	5	7	6	68
ヨシ原浄化施設	50	13	7	6	76
水元公園	40	7	5	3	55
河北潟生態系活用水質浄化施設	25	10	7	4	46
井上川浄化施設（きらり）	55	10	7	4	76
生態系活用木場潟水質浄化施設	30	10	8	8	56
諫早湾調整池（夏季）	50		5	3	58
諫早湾調整池（冬季）	50		5	3	58
長田地区（夏季）	50	7	5	3	65
長田地区（冬季）	50	7	5	3	65
ヨシ植栽水路（夏季）	20		7	5	32
ヨシ植栽水路（冬季）	20		7	5	32
半造川合流箇所滞水部(6月6日)	35	7	5	3	50
半造川合流箇所滞水部(9月28日)	55	7	5	3	70
半造川合流箇所滞水部(10月23日)	55	7	5	3	70

7．総合的な水域の健全度評価

ここまで各浄化施設の汚濁除去効果の検討とともに環境整備の評価を行った.各浄化施設における濃度差,除去率,除去量,分解速度定数の評価に加えて,その 4 つの評価の合計である汚濁除去効果を用い,自然環境項目の評価との関係,自然環境に住民参加,維持管理,工夫を含めた合計の環境整備評価との関係を散布図で示し,互いの関係性について評価,検討を行った.

その中でも比較的,比例的な関係が見られた汚濁除去量と環境整備,汚濁除去効果と自然環境,汚濁除去効果と環境整備の関係を **Fig.8**～**Fig.10** に示す.**Fig.8**,**Fig.10** から環境整備全般による水質浄化作用の促進が,汚濁除去量,汚濁除去効果に与える影響が大きいことがわかる.また,環境整備評価に対して汚濁除去量,汚濁除去効果のともに,一定の相関関係が見られることから,汚濁の浄化に関する評価を行う際,汚濁除去量に関する評価が極めて重要になってくることが言える.汚濁除去効果について **Fig.8** と **Fig.9** を比較すると,環境整備評価より自然環境項目との関係の方がばらつきがあり,広く分布していることがわかる.この結果は,汚濁除去効果に関わる要素が,単に自然環境項目で評価された要素だけではなく,住民参加や維持管理,工夫の項目を含めた要素の方が適切に評価できることを示している.

次に,9 月の半造川合流箇所滞水部の結果を見ると,汚濁除去効果と環境整備評価のともに良好な値を示している.6 月の結果と比較することで,自然環境の充実による水質浄化能力の向上も確認することができる.

水域の浄化を果たしていくためには,濃度差,除去率,除去量などを向上させていく必要がある.しかし,対象としている水環境整備水域を考えた場合,受水域である閉鎖性水域の水質悪化を防ぐ観点からは汚濁除去量の絶対値を大きくしていかなくてはならない.また,健全な水環境の達成を目指すためには,前節で述べたように地域住民の興味・意識の高揚を促していくことも不可欠である.

8．おわりに

本研究では,半造川合流部環境整備箇所に関して,各浄化施設との相対による汚濁除去効果と環境整備評価といった 2 つの観点から健全度の評価を行った.水環境整備の進行とともに良好な環境に推移していく経過を評価することができた.継続して現地観測を行い,これからの更に良くなるであろう経過を確認するとともに,季節的変化の傾向もつかんでいく必要がある.今後,環境整備評価に関して,自然環境項目をより適切に評価できるように検討し,また,点数の配分の妥当性を検討していかなくてはならない.更に,長崎市と長崎大学との連携で長崎市西部下水処理場に設置した植栽水路(**Photo 5** に示す)での実験結果をも考慮して人工湿地の健全度の評価を行っていく.



Photo 5　長崎市西部下水処理場植栽水路

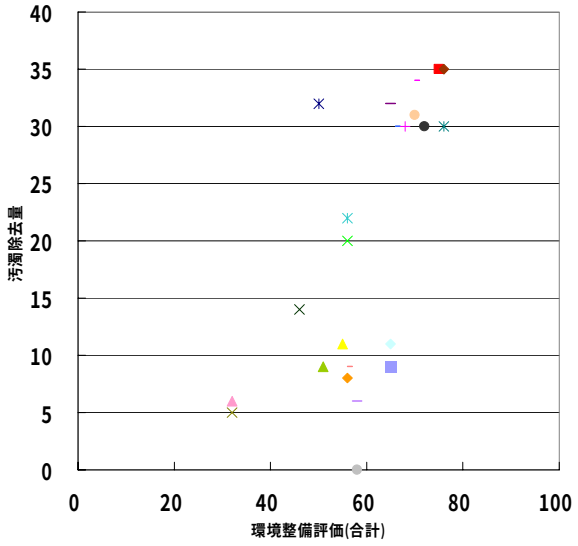


Fig. 8　汚濁除去量と環境整備との関係

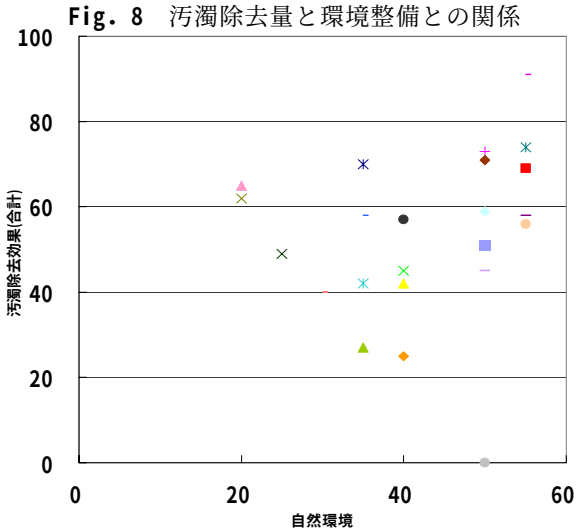


Fig. 9　汚濁除去効果と自然環境との関係



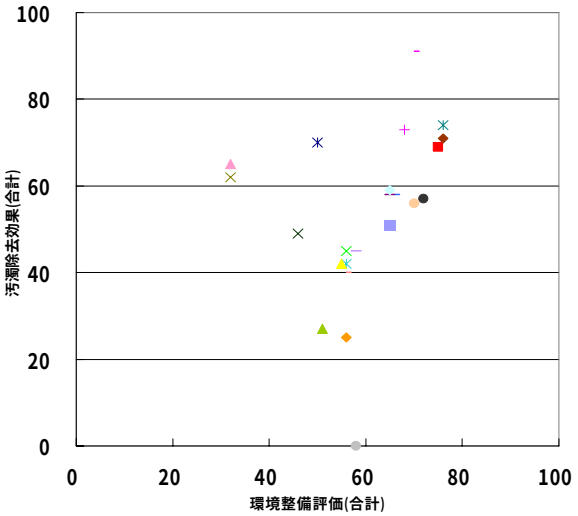


Fig. 10　汚濁除去効果と環境整備との関係

謝辞：資料収集等では国土交通省長崎河川国道事務所の方々に多大なるご支援を頂戴した.ここに記して,関係各位に深甚の謝意を表します.

参考文献

1) 九州地方整備局 長崎河川国道事務所:環境整備工事(図面)
2) 野口正人,吉田光,白川純子,牟田耕平:水生植物を用いた水域浄化効率に関する一考察,長崎大学工学部研究報告,第32巻,第59号,pp.169,2002
3) 百田広樹,太田貴史,鈴木誠二,野口正人,西田渉:ヨシ原植栽事業が汚濁負荷物質の輸送に与える影響,土木学会西部支部研究発表会,2007
4) 岩吉政輔:ヨシ植栽水路を用いた汚濁除去効率の向上に関する検討,長崎大学工学部卒業論文,2007
5) 河川環境管理財団 河川環境総合研究所:植生浄化施設の現状と事例,2000