[水環境学会誌 第15巻 第7号 465—471 1992]

〈技術報告〉

日本国内の113湖沼における COD 環境基準の達成状況

天 野 耕 二* 福 島 武 彦* 相 崎 守 弘*

Attainment Conditions of the Water Quality Standard (COD) in Japanese 113 Lakes

Koji AMANO*, Takehiko FUKUSHIMA* and Morihiro AIZAKI*

* National Institute for Environmental Studies, Onogawa 16-2, Tsukuba, Ibaraki 305 Japan

Abstract

Attainment conditions of the water quality standard (COD) in Japanese 113 lakes (197 designated sites) were investigated by using observed COD concentration between 1978 and 1988. Observed concentration in about a half of all designated sites have exceeded the standard value of each site every year. Only 20% of the sites have attained the water quality standard every year. Objective 113 lakes could be classified according to two indices of 'the ratio of exceeding year in 1978-1988' and 'the ratio of observed mean in 1978-1988 to the standard'. Though the attainment conditions throughout Japanese lakes have become better, the decreasing ratio of the autochthonous COD to the allochthonous indicated the emphasis of watershed management.

Key words: lake, COD, water quality standard

1. はじめに

公共用水域における水質環境基準については、人の健康に関する項目がほぼ完全に基準を達成できるようになってきた一方で、生活環境項目の達成状況に目立った改善が見られないことが問題となっている。いわゆる一般の有機汚濁の水質指標としては、河川の環境基準が BOD、湖沼・海域の環境基準が COD で評価されている。河川における環境基準の達成率がここ十

数年の間に向上のきざしを見せていることに対して、湖沼における達成率は5割以下のままで横ばい状態である。

湖沼の COD 環境基準の達成率の低さと改善傾向の乏しさは1970年代から指摘されているにもかかわらず、環境白書に毎年掲載されているような「達成率の経年変化のグラフ」以外に定量的な達成状況の評価はほとんどなされていない。環境基準は利水目的 (Table 1) に加えて基準設定時における水質状況を考慮して決

Table 1 Environmental standard value (COD) of the Japanese lakes (◎: 1st class, ○: 2nd class, △: 3rd class)

CATEGORY OF ENVIRONMENTAL STANDARD	ADAPTABILITY					STANDARD VALUES COD, mg l-1
	WATER SUPPLY	FISHERY	AGRICULTURAL	INDUSTRIAL	BATHING	
A A	◎	◎	○	◎	○	1
A	○△	○	○	◎	○	3
B		△	○	◎		5
C				○		8

* 国立環境研究所 〒305 茨城県つくば市小野川16-2

定されている。各水域ごとに持つ制約条件や基準となる水質項目の問題点なども無視できないが、現時点で行政施策の根本を成している環境基準の達成状況を総合的に評価する手法を提示する必要がある。本報告では、日本の湖沼における COD 環境基準の達成状況と基準達成に係わる水質特性について詳細な評価を試みた。対象としたデータは環境庁水質保全局監修の水質年鑑に掲載されている COD_{Mn}濃度（1988年度現在で環境基準点として指定されている113湖沼197地点における1978年度から1988年度までの水質データ）である。

2. COD 環境基準の達成状況

環境基準の達成については、各環境基準地点ごとに年間75%値（厳密な意味での非超過確率値ではない）を年間代表値として基準値と比較することにより判断されている。同じ湖沼に複数の基準点がある場合は、すべての基準点で環境基準が達成されることによって対象湖沼が環境基準を達成していると判断されている。しかし、基準点として指定されてある各々の地点ごとに「これまで何年くらい基準を達成できたのか?」、あるいは「基準値との開き具合はどの程度か?」といった基本的な問いに答える必要がある。

そこで、類型指定197地点について11年間（1978～1988）における超過年度率（基準を超えた年度の割合）を計算した。多層採水されている地点については、層別データの平均値とした。Fig. 1 に超過年度率の類型別の地点数によるヒストグラムを示す。全環境基準地点の内約半分の地点ではここ11年間に毎年基準値を超えている。この11年間に毎年基準を達成できた

地点は全体の約20%であるが、B 類型に限っては10%にも満たない。B 類型については、指定された地点の約80%が毎年基準を超えている。A 類型に指定された116地点では、基準を毎年守ってきた地点が30%近くある反面、毎年超えている地点も40%以上ある。超過年度2割未満の地点が完全達成されるようになれば、全体の達成状況はかなり改善されと考えられるが、11年間で1度も基準が達成できなかった地点がB 類型を中心に半分以上残っていることは、きわめて深刻な状況であるといえよう。

環境基準を超えている場合でもいろいろな状況が考えられ、惜しいところで超えているのか、はるかに超えているのかを評価する必要がある。Fig. 2 は、ここ11年間の COD 年間75%値の平均が基準値の何倍になっているかを計算した値の類型別のヒストグラムである。2 倍を超えるということは負荷量の50%以上をカットしなければ環境基準が達成できないということに近い意味を持つ。

A 類型は地点数も多いので基準値以下の地点も多いが、基準値を大きく上回る地点も同様に多い。AA 類型については、基準値が低いせいもあるが、4 割以上の地点で基準値の2 倍を越えている。手賀沼は B 類型であるが、11年間の平均 COD が環境基準の5 倍にもなっている。

Table 2 に類型指定197地点について11年間（1978～1988）における超過年度率（基準を超えた年度の割合）と11年間の COD 年間75%値の平均が基準値の何倍になっているかを計算した値のそれぞれ類型別の頻度（地点数）分布の内訳を示す。達成状況を評価する観点はいくつか考えられるが、基準未達成の地点についても「毎年基準をはるかに超えて経年的にも悪

Fig. 1 Frequency distribution of the ratio (%) of exceeding the standard

Fig. 2 Frequency distribution of the ratio of the observed to the standard

Table 2 Frequency distribution of the ratio (%) of exceeding the standard and the ratio of the observed to the standard

		TOTAL	AA	A	B	C	
		TOTAL	197	48	116	31	2
RATIO(%) OF EXCEEDING THE STANDARD	0	40	7	31	2	0	
	0~20	22	5	13	4	0	
	20~40	11	4	6	1	0	
	40~60	6	0	5	0	1	
	60~80	6	2	3	0	1	
	80~100	13	3	10	0	0	
	100	99	27	48	24	0	
RATIO OF THE OBSERVED TO THE STANDARD	~1.0	73	16	50	7	0	
	1.0~1.5	40	4	27	7	2	
	1.5~2.0	34	8	17	9	0	
	2.0~2.5	19	7	9	3	0	
	2.5~3.0	17	9	6	2	0	
	3.0~3.5	8	2	5	1	0	
	3.5~4.0	3	1	1	1	0	
	4.0~4.5	2	1	1	0	0	
	4.5~5.0	0	0	0	0	0	
	5.0~	1	0	0	1	0

Fig. 3 Result of classification by the ratio of exceeding the standard and the ratio of the observed to the standard

化している」という最悪の状況から「ごくたまに基準をわずかに上回ることもあるが経年的には改善傾向にある」という好ましい状況まで何通りものパターンを考慮する必要がある。**Fig. 3**に「1978—88の11年間における基準超過年度の割合」と「基準値を1としたときの1978—88の11年間における平均COD値」という二つの観点からみた197の環境基準点における達成状況を示す。このような観点から197の環境基準点を四つのカテゴリーに分類してみた。カテゴリーIは毎年基準を達成している40地点で全く問題はない。カテゴリーIIはこの11年間にわずかに1～2年だけ基準を越える年があった22地点であり、完全達成まであと一息といえる。カテゴリーIIIはこの11年間に3年以上基準超過が見られたが、11年間の平均値は基準値の2倍以内に

収まっている85地点である。全基準点の内半数近くがこのカテゴリーIIIであるが、基準の達成は決して容易ではない。カテゴリーIVはこの11年間に毎年基準を越えてなおかつ11年間の平均値が基準値の2倍以上になっている最悪の50地点である。

3. 年間代表値の経年変化

環境基準の達成・未達成にかかわらず、水質が経年的に改善傾向にある地点、悪化しつつある地点、不規則に変動している地点などに分類した上で達成状況を評価することも重要である。このような経年変化の傾向を一次近似的に評価するために時系列を直線回帰してみる。

Fig. 4に経年変化の傾きのヒストグラム（カテゴリー別）を示す。これは、各基準点ごとに最近11年間のCOD年間75%値の時系列を直線回帰して最小自乗法により求めた経年変化の傾きであり、マイナスが改善傾向、プラスは悪化傾向を示している。回帰の有意性の検定結果から絶対値が0.1以下の場合には有意な変化傾向はないと判断された。有意に変化していない（横ばい傾向あるいは不規則な変動傾向をもつと思われる）地点が約8割を占めている。カテゴリーIVでは改善傾向の地点も多いが悪化傾向を示す地点もみられる。

4. COD成分の分離

CODの年間最小値を外来性のCODの指標とする便宜的な手法は海域におけるデータを用いて提唱され

ている²⁾。湖沼についても、水中の COD 濃度がクロロフィル a 濃度と線型関係にある湖沼が多く、その回帰式の切片は外部から流入する COD 濃度の指標になるとされている³⁾。そこで、各地点における COD の年間最小値を外来性 COD の便宜的な指標として評価してみる。年間最小値を外来性 COD と仮定した場合、年間平均値と年間最小値の差が内部生産 COD として評価できる。

Table 3 に経年変化の傾きの頻度 (地点数) 分布とあわせて、内部/外來 COD 比率の達成状況カテゴリー別の頻度分布の内訳を示す。また、Fig. 5 には内部/外來

Fig. 4 Frequency distribution of the regression coefficient from time-series data

COD 比率のヒストグラムを示す。カテゴリーI・II よりもカテゴリーIII・IV の方が内部生産性 COD の比率が高い地点が多い傾向がみられる。達成状況の悪い湖沼の方が湖内の内部生産が比較的大きいことがわかる。

Table 4 に COD75% 値 (1978—1988 平均) が基準値の 2 倍を超えているカテゴリーIV の 27 湖沼における、各種湖沼特性と環境基準値を 1 とした場合の COD75% 値・内部生産 COD 値・外來性 COD 値および内部/外來比率を示す。制限栄養塩については、日本国内の湖沼における TN/TP 比とクロロフィル a 濃度の関係から制限境界を TN/TP=11 として判断した³⁾。27 湖沼のうち実に 23 湖沼までが外來性 COD だけで環境基準を越えている。外來性・内部生産性のいずれもが環境基準を越えている絶望的な湖沼は漆沢ダム、森吉ダム、霞ヶ浦 (西浦)、印旛沼、手賀沼、木場潟、諏訪湖、油ヶ淵の 8 湖沼である。内部生産 COD だけでも環境基準を超えてしまう湖沼では、外來性 COD を 100% カットしても環境基準を達成できないという難問に直面し、外來性 COD に加えて窒素・リンなどの栄養塩の大幅カットが必要となってくる。手賀沼にいたっては、ここ 11 年間に毎年外來性 COD と内部生産 COD の両方がそれぞれ環境基準を超えている。阿寒湖、春採湖、皆瀬ダム、常陸利根川、佐鳴湖、児島湖では内部/外來比が 0.5 以下であり、外來性 COD の影響が大きいことを示している。阿寒湖と児島湖は内部生産性 COD は環境基準の半分程度であるが、外來性

Table 3 Frequency distribution of the regression coefficient from time-series data and the ratio of the autochthonous COD to the allochthonous

		CATEGORY I	CATEGORY II	CATEGORY III	CATEGORY IV
REGRESSION COEFFICIENT, COD mg l-1 / y	~-0.25	1	3	4	11
	-0.25~-0.20	0	1	2	1
	-0.20~-0.15	0	1	4	2
	-0.15~-0.10	0	0	11	3
	-0.10~-0.05	4	2	15	6
	-0.05~-0.00	10	4	15	8
	0.00~0.05	19	6	17	8
	0.05~0.10	5	3	9	3
	0.10~0.15	0	0	2	7
	0.15~0.20	0	2	0	0
AUTOCHTHONOUS/ ALLOCHTHONOUS COD RATIO	0.20~0.25	0	0	1	1
	0.25~	0	0	0	0
	~0.2	8	2	0	0
	0.2~0.4	13	4	12	7
	0.4~0.6	8	8	14	15
	0.6~0.8	6	4	16	10
	0.8~1.0	5	0	26	12
	1.0~1.2	0	2	11	3
	1.2~1.4	0	1	5	2
	1.4~1.6	0	0	0	0
	1.6~1.8	0	1	0	1
	1.8~2.0	0	0	1	0
	2.0~	0	0	0	0

COD 濃度が高いために環境基準を大幅に越えている。これとは対照的に、柴山湖は外来性 COD は環境基準の 6 割程度だが内部生産性 COD が高いために環境基準を大幅に越えている。

Fig. 6 にカテゴリーⅣの 50 地点の内部/外来 COD 比率の経年変化を示す。不規則に変動している地点が多いが、全体的に内部/外来比率はここ十年で低下傾向にある。1978~1980 年には内部/外来比の平均値は 0.8~0.9 だったが、最近 0.6~0.7 程度にまで下がっている。このことは、全 COD 濃度が改善傾向にある湖沼が多い中、外来性 COD の比率が地加していることを表している。

Fig. 5 Frequency distribution of the ratio of the autochthonous COD to the allochthonous

5. 環境基準からみた許容負荷量

ここ11年間の年間75%値の平均が環境基準を達成できていない湖沼の水質特性と負荷特性を Table 5 と Table 6 に示す。COD の許容負荷量は環境基準値に年間流入水量を掛けて流達率を 1 と仮定して求めた。各湖沼における流入水量および発生負荷の内訳（原単位法）は環境庁水質保全局の調査による推定値⁴⁾を用いた。栄養塩は TP (全リン) を対象として、Vollenweider 型のモデルにより許容負荷量を計算した。このモデルは 1) 湖沼を完全混合槽とみなし、2) 定常状態の年間平均的な現象を扱い、3) 流入・流出濃度差を一括して収支残量としてとらえる、等の仮定から成立しており、基本式は次のように与えられる⁵⁾。

$$P_j = \frac{L(1-R)}{q_s} = P_i(1-R)$$

$$R = \frac{v}{(v + q_s)}$$

ここに、 P_j は湖水平均濃度 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、 L は面積負荷 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{y}^{-2}$)、 q_s は水量負荷 ($\text{m} \cdot \text{y}^{-1}$)、 P_i は流入水の平均濃度 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)、 R は蓄積率、 v はみかけの沈降速度 ($\text{m} \cdot \text{y}^{-1}$) である。すなわち、許容される湖沼中の TP 濃度を $(1-R)$ で除することにより流入水中の許容 TP 濃度を求め、これに年間流入水量を掛けることによって許容負荷量とみなす。湖水中の許容 TP 濃度は実測値による TP/内部生産 COD 関係式と COD の環境基準値から計算し、みかけの沈降速度は $20 \text{m} \cdot \text{y}^{-1}$ とした⁵⁾。

Table 4 Ratio of the autochthonous COD to the allochthonous in 27 lakes of the category IV

	RETENTION TIME, y	LIMITED NUTRIENT	ENVIRONMENTAL STANDARD	OBSERVED/STANDARD			AUTO./ALLO. RATIO
				75PERCENTILE	ALLOCHTHONOUS	AUTOCHTHONOUS	
L.ABASHIRI	0.2740	N	A	2.20	1.35	0.74	0.70
L.AKAN	1.0700	N	AA	2.86	2.09	0.52	0.26
L.HARUTORI	0.2865	N	B	3.48	2.05	0.90	0.46
R.HANAYAMA	0.1339	P	AA	2.65	1.29	0.92	0.80
R.NARUGO	0.1186	P	AA	2.16	0.93	0.89	1.08
R.URUSHIZAWA	0.2141	N	AA	2.68	1.22	1.07	0.93
R.KAMAFUSA	0.1908	P	AA	2.39	1.43	0.75	0.56
R.OHKURA	0.0249	P	AA	2.14	1.03	0.87	0.96
L.HACHIROH	0.1211	P	A	2.48	1.21	0.98	0.87
R.MORIYOSHI	0.1488	P	AA	3.01	1.68	1.01	0.63
R.HAGINARI	0.0585	P	AA	2.76	1.65	0.83	0.52
R.MINASE	0.0855	P	AA	2.73	1.60	0.72	0.45
L.NISHIURA	0.4525	P	A	3.39	2.06	1.04	0.53
L.KITaura	0.3448	P	A	2.92	1.73	0.88	0.53
L.HITACHITONE	0.0400	P	A	3.04	2.11	0.69	0.34
L.IMBANUMA	0.0613	P	A	4.17	2.01	1.53	0.79
L.TEGANUMA	0.0431	N	B	5.04	2.43	1.96	0.85
L.TOYANOGATA	0.0135	N	B	2.12	1.00	0.89	0.90
L.KIBAGATA	0.0163	P	A	2.69	1.15	1.10	0.97
L.SHIBAYAMAGATA	0.0118	P	A	2.08	0.63	1.03	1.70
L.SUWA	0.0323	N	A	2.57	1.04	1.19	1.21
L.KIZAKI	0.4200	P	AA	2.05	0.82	0.92	1.25
L.SANARU	0.0481	N	B	2.75	1.71	0.81	0.49
L.ABURAGAFUCHI	0.0199	N	B	2.55	1.19	1.08	0.93
L.BIWA	5.3190	P	AA	2.88	1.58	0.98	0.66
L.KOYAMA	0.1898	P	A	2.25	1.03	0.90	0.89
L.KOJIMA	0.0469	N	B	2.08	1.43	0.52	0.38

Table 6 Environmental characteristics of the 37 lakes (except 26 lakes in Table 3) in where the observed total COD is exceeding environmental standard (Regression Coefficient ○: < -0.1, △: -0.1~0.1, ×: > 0.1)

	LIMITED NUTRIENT	ENVIRONMENTAL STANDARD	ATTAINMENT CATEGORY	RATIO(%) OF EXCEEDING	REGRESSION COEFFICIENT			DISCHARGED/CAPABLE RATIO	PRINCIPLE SOURCE		
					75percentil	allo.	auto.	COD	TP		
L.OHNUMA	P	A	III	82	△	△	△	0.15	0.65	non-point	32%
L.OGAWARA	P	A	III	41	△	△	○	0.76	2.24	livestock	42%
R.ISHIBUCHI	P	AA	III	91	△	△	△	0.04	0.31	non-point	100%
R.TOYOSAWA	P	A	III	36	△	△	△	0.02	0.11	non-point	99%
R.KURIKOMA	P	AA	III	100	△	△	△	0.09	0.51	non-point	88%
R.NARUGO	P	AA	IV	100	△	△	△	0.14	1.02	non-point	50%
R.TARUMIZU	P	A	III	91	△	△	△	0.11	0.24	non-point	80%
L.NAGANUMA	N	B	III	100	△	△	△	0.37	0.52	livestock	34%
R.SUBARI	P	AA	III	100	△	○	△	0.05	0.28	non-point	100%
L.OZENUMA	P	A	III	94	△	△	△	0.12	0.15	non-point	75%
L.OGUNINUMA	P	A	III	100	△	△	△	0.12	0.14	non-point	100%
L.HINUMA	P	B	III	100	△	○	△	0.47	1.95	household	70%
L.AKAGIOHNUMA	P	A	III	82	×	×	△	-	-	-	-
L.HARUNA	P	A	III	82	△	△	△	-	-	-	-
L.ASINIKO	P	AA	III	100	△	△	△	0.96	1.08	non-point	49%
L.SHIBAYAMAGATA	P	A	IV	100	×	△	△	0.43	2.35	household	72%
L.KAHOKUGATA	P	B	III	100	△	△	×	0.44	1.54	household	77%
L.KITAGATA	P	B	III	100	△	△	△	0.11	0.46	household	55%
L.MIKATAGOKO	P	A&B	III	34	○	○	○	0.16	0.35	household	49%
L.KAWAGUCHI	P	A	III	82	△	△	△	0.35	1.00	household	53%
L.SHOHJI	P	A	III	91	△	△	△	0.07	0.27	non-point	48%
L.MOTOSU	P	AA	III	64	△	△	△	0.59	0.75	non-point	80%
L.SHIRAKABA	P	A	III	55	○	△	○	0.73	2.54	industry	37%
L.TATESHINA	N	A	III	55	△	△	△	0.31	1.96	industry	52%
L.MEGAMI	P	A	III	82	○	△	○	0.11	0.55	non-point	48%
L.DAIZAHOSHIIKE	P	A	III	100	○	×	○	0.69	5.41	livestock	89%
L.BIWAKE	P	A	III	55	△	×	○	0.26	1.19	industry	92%
L.AOKI	P	AA	III	82	△	△	△	0.07	0.45	non-point	54%
L.NAKATSUNA	P	AA	III	73	○	△	△	2.36	11.63	household	81%
L.KIZAKI	P	AA	IV	100	○	△	△	1.64	6.53	household	86%
L.TOHGOH	P	A	III	100	○	△	△	0.58	1.83	household	42%
L.NAKAUMI	N	A	III	91	△	△	△	0.23	0.90	household	53%
L.SHINJI	N	A	III	100	△	△	△	0.48	1.44	household	59%
L.JINSEI	N	C	III	55	○	△	○	0.37	2.20	livestock	48%
R.SUGANO	P	A	III	100	○	△	△	-	-	-	-
L.TOKIWA	P	B	III	100	△	△	△	-	-	-	-
R.HYUHGAKAMI	P	A	III	73	△	△	△	0.06	0.24	household	50%

われる。特に、中綱湖では TP の発生/許容負荷比率が 10 倍以上になっており、TP 負荷の大幅削減が急務である。この他、小川原湖、柴山潟、白樺湖、大座法師池、木崎湖、神西湖でも TP 負荷が許容量の 2 倍以上となっている。

6. おわりに

本報告では、主に 1980 年代における日本の湖沼の COD データを様々な角度から眺めることによって、単純な達成率の推移だけではわからない環境基準達成状況の定量的な評価を行った。長年にわたる、達成率の低迷の背景には基準値との「どうしようもない開き」を持つ絶望的な湖沼が数多く存在することも確認された。基準達成計画策定の基本となる COD 成分の分離(外来性/内部生産性)も試みたが、現実には厳しいといわざるを得ない。

全国で 63 の環境基準未達成湖沼(過去 11 年間の平均)の中で 18 の湖沼において COD75% 値の低下傾向がみ

られたことがわずかな救いとなっているが、基準値との開き具合を考えると達成率の向上は容易なことではない。本報告で提示した多面的な評価手法が今後の環境基準達成に向けて活用されることを期待したい。

(原稿受付 1992 年 1 月 14 日)

(原稿受理 1992 年 4 月 22 日)

参 考 文 献

- 1) 環境庁水質保全局監修(1978~1988) 全国公共用水域水質年鑑, 1978~1988 年版, 東海大学出版会。
- 2) 中西弘, 浮田正夫, 宇野良治(1975) 海域における COD 生産量について, 用水と廃水, 17, 43-53。
- 3) 福島武彦, 天野耕二, 村岡浩爾(1986) 湖沼水質の簡易な予測モデル 2. 湖水栄養塩濃度と内部生産 COD, クロロフィル a との関係, 水質汚濁研究, 9, 775-785。
- 4) 環境庁水質保全局水質規制課(1983) 昭和 57 年度湖沼の富栄養化対策調査報告書。
- 5) 福島武彦, 天野耕二, 村岡浩爾(1986) 湖沼水質の簡易な予測モデル 1. 湖沼流域の諸特性と湖水栄養塩濃度との関係, 水質汚濁研究, 9, 586-595。