

<論文>

水質汚濁負荷量の汚濁負荷原単位の算定と減少要因の特定に関する研究

—滋賀県の産業系汚濁負荷を対象として—

○吉田 徹¹, 石本 貴之², 井手 慎司³¹(財)滋賀県産業支援プラザ 地域結集型共同研究事業 プロジェクト推進室
(〒522-0057 滋賀県彦根市八坂町 3225 E-mail: yoshida@kesshu.shigaplaza.or.jp)²滋賀県立大学大学院 環境科学研究科 博士前期課程(〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500)³滋賀県立大学 環境科学部環境計画学科(〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500)

本研究では、琵琶湖への産業系水質汚濁負荷量の産業連関表生産額当たりの汚濁負荷原単位(188部門)を1995と2000年の両基準年について算定した。その結果、両基準年間に産業系負荷量が大幅に減少しており、同原単位が平均で49%減少していたことが明らかになった。また、同負荷量減少の要因を事業所へのアンケート等によって調査したところ、減少量のうち平均で約76%の要因を特定することができ、事業所の操業停止または事業規模縮小、生産工程変更による減少分(平均寄与率)が約46%、濃度削減対策が約18%、排水量削減対策が約7%、下水道接続が約5%であったことが明らかになった。

キーワード: 琵琶湖, 産業系排水, 水質汚濁負荷量, 汚濁負荷原単位, 産業連関表

1. はじめに

滋賀県では2002年度から地域結集型共同研究事業として「シーケンシャルユース」をテーマとした研究開発事業に取り組んでいる。同研究事業は、産業部門から排出される廃棄物を未使用資源とみなし、シーケンシャルに活用することで、新たなエネルギーや資源の投入を抑制しようとする試みである。また、その一環として、産業連関表を環境面に拡張して、水質汚濁負荷量、廃棄物量、CO₂排出量を予測できる経済モデルの構築を目指している¹⁾。

本研究の目的は、同経済モデル構築の一環として、琵琶湖への産業系水質汚濁負荷量の産業連関表²⁾生産額当たりの汚濁負荷原単位を1995と2000年(以下、95と00年)の両基準年において算定し、同原単位の両基準年間における増減の要因を明らかにすることである。ここで、汚濁負荷原単位とは「金額1単位(100万円)の製品を製造する際に副次的に発生し、水系に流入する汚濁物質」とする。

汚濁負荷原単位(以下、原単位)を算定することで、滋賀県の経済構造の変化に伴う琵琶湖への産業系汚濁負荷量(以下、負荷量)の変化を予測することが可能となる。また、原単位の増減要因を明らかにすることができれば、経済構造の変化以外の要因による負荷量の変化の予測に示唆を与えることができると考えられる。

本研究では、まず、95と00年について、水質汚濁防止法等に基づく特定事業場(以下、対象事業所)の公共用水域への汚濁物質(COD, BOD, T-N, T-P)濃度 C (mg/l or g/m³)、排水量 Q (m³/日 or t/日)のデータを対象事業所の主要事業から産業連関表統合小分類(188部門)に分類し、部門ごとに負荷量 L (kg/日)の合計を算出する。(1)式が部

門ごとの負荷量 L の算出式である。

$$L_i = \frac{\sum_j C_{ij} Q_{ij}}{1000 \text{ g/kg}} \quad (1)$$

ここで、 i : 連関表小分類 i 部門, j : 連関表小分類 i に属する事業所 j である。

次に、同負荷量合計を該当部門の滋賀県産業連関表(以下、連関表)生産額 X (百万円/年)で割ることで、部門ごとの原単位 U (kg/百万円)を求める。(2)式が部門ごとの原単位 U の算定式である。

$$U_i = \frac{L_i}{X_i} \times 365 \text{ 日/年} \text{ or } \frac{\sum_j C_{ij} Q_{ij}}{X_i} \times \frac{365 \text{ 日/年}}{1000 \text{ g/kg}} \quad (2)$$

最後に、両基準年間(期間中)に負荷量が大きく減少していた対象事業所に対してアンケート調査等を実施して、調査結果の分析から減少要因ごとの減少寄与率の算定を試みる。

なお、同じ目的をもつ先行研究としては、著者らが先に報告したもの¹⁾があるが、本研究は、同先行研究に次のような改善を施したものである: 1) 00年の生産額として、工業統計からの推計値ではなく、実際の同年の連関表生産額を用いる、2) 原単位を算定する対象を工業系から産業系の全部門に拡大する、3) 期間中の負荷減少量が大きく、かつ減少要因が特定できていなかった対象事業所に対する調査を再度実施する、4) 要因分析方法を改良する。特に 3) と 4) を実施した結果、減少要因を特定できた負荷量は、全体の減少量の平均で先行研究の49%が本研究

では 76%に増加した。

また、すべての作業は、連関表小分類(188 部門)で行なったが、一部、非公開データを用いており、また、部門によっては事業所が特定されてしまう可能性があるため、本編では、すべての結果を連関表統合大分類(32 部門)に再集計した形で報告する(なお、県内に対象事業所がある部門のみを対象としているため、実際は 32 部門ではなく、24 部門の結果となる)。

2. 汚濁負荷原単位の算定

2.1 基礎データ

本研究では、原単位を算定するために、滋賀県が 95 と 00 年の湖沼水質保全計画³⁾を策定する際に、負荷量算出のために使用した基礎データ(以下、基礎データ)を使用する。対象事業所数は 95 年が 1724 件、00 年は 1649 件である。同データは暦年ではなく年度データであるが、本研究で使用する他のデータのほとんどが暦年であるため、基礎データも暦年として扱う。

基礎データには、汚濁物質濃度、対象事業所ごとの排水量、水質汚濁防止法に基づく排水量区分(一定の日排水量以上と未満の分類)、業種区分(日本標準産業分類中分類)などが収録されている。

このうち汚濁物質濃度は、実測値と業種値の二種類の値をもつ。実測値とは滋賀県が基準年から遡って 3 年以内に実測した排水濃度である。これに対して、業種値とは、実測値等に基づき、滋賀県が日本標準産業分類中分類の業種ごとに設定した排水濃度である。

また、排水量区分は 95 年の「排水量 30 t/日以上と未満」が 00 年には「排水量 10 t/日以上と未満」と変わっている。これは 96 年に同県の「水質汚濁防止法第 3 条第 3 項の規定に基づく排水基準を定める条例」が改正され、排水基準の適用が排水量 30 t/日以上から 10 t/日以上の実業所に裾下げされたためである。したがって、95 年の基礎データには 30 t/日未満、00 年には 10 t/日未満の実業所に関する排水濃度の実測値データがほとんどない。

そのため以下の計算における排水濃度としては、両基準年ともに実測値データが存在する排水量 30 t/日以上の実業所については実測値を、未満の実業所については業種値を用いることとする。

2.2 汚濁負荷原単位の算定方法

(1) 基礎データの分類

原単位算定の第一段階として、滋賀県琵琶湖環境部環境管理課と共同で、対象事業所の主要事業を特定し、同事業に基づいて対象事業所を連関表統合小分類部門に分類した。分類に当たっては先行研究¹⁾で開発した次の手順とルールを用いた。これによって分類できた事業所数は 95 年が 1724 件中 1660 件(96%)、00 年が 1649 件中 1605 件(97%)であった。

【分類手順】

- 1) 平成 13 年度事業所・企業統計資料(総務省)⁴⁾から、両基準年の基礎データにある対象事業所を社名または住所で検索する。検索の結果、同資料において存在が確認でき、かつ資料における日本標準産業分類小分類から連関表小分類が一意に特定できる事業所については、特定できた同小分類に分類する。(終了)
- 2) 上記資料で存在が確認できない、あるいは日本標準産業分類小分類から連関表小分類を一意に特定できない事業所については、社名を用いて、インターネット検索エンジン google、インターネットタウンページ、滋賀県企業要覧(89, 92, 96, 03 年度)^{5), 6)}の順に検索、検索結果から同事業所の主要事業を特定する。
- 3) 上記 2)によって主要事業を特定できない場合であっても、社名あるいは業種・産地情報、過去のゼンリン地図における掲載情報から明らかに業務内容を特定できる事業所については、特定できた業務内容をその主要事業とする。
- 4) 上記 2)と 3)によって特定できた主要事業から日本標準産業分類平成 15 年度版 CD-ROM のキーワード検索によって、日本標準産業分類細分類を特定、同細分類に対応する連関表小分類に該当事業所を分類する。(終了)

以上の分類手順によっても分類できなかった事業所(95 年 64 件、00 年 45 件)については分類不明とし、以下の分析に含めていない。

(2) 汚濁負荷量の算出

原単位算定の第二段階として、上記の分類手順によって、連関表小分類に分類した各事業所の負荷量を、(1)式によって部門ごとに集計して負荷量を算出する。

95 と 00 年の統合小分類部門の負荷量(COD, BOD, T-N, T-P)を大分類部門に集計した部門内訳を Fig. 1 から 4 に示す。また、大分類部門ごとの両基準年の平均汚濁物質濃度と排水量、事業所数、生産額と負荷量をそれぞれ Table 1 と 2 に示す。

図より、産業部門全体の負荷量が基準年間にほぼ半減していたことがわかる。特に、C)食料品と D)繊維製品、E)パルプ・紙・木製品、F)化学製品、P)その他の製造工業製品の 5 つの部門における減少量が大きかった。

(3) 汚濁負荷原単位の算定結果

先行研究¹⁾では、研究時点で 00 年の連関表が公表されていなかったため、同年の生産額については、00 年の工業統計出荷額から推計した値を用いた。また、このため工業系 15 部門(大分類)の原単位しか算定できなかった。しかし、00 年連関表が 2005 年 3 月に公表されたことを受け、本研究では、00 年の生産額として同年連関表生産額を用いるとともに、工業系以外も含めた産業系全部門につ

いての原単位を算定する。

以上の作業によって算定できた両基準年の原単位を Table 2 に示す。表より、負荷量と同様に全ての汚濁物質の原単位も、基準年間に於いてほぼ半減(平均で 49%減少)していたことがわかる。

2.3 汚濁負荷原単位減少原因の考察

基準年間に、全ての汚濁物質の原単位がほぼ半減していた原因としては、原単位の算定式(2)式から 1)排水中汚濁物質濃度の減少、2)排水量の減少、3)生産額の増加の3つの可能性が考えられるが、Table 1と2より、平均汚

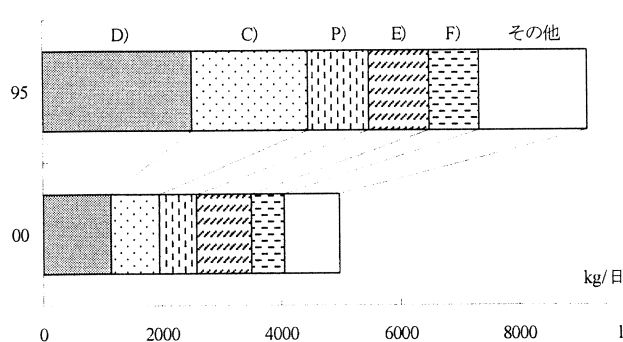


Fig. 1 COD 負荷量統合大分類部門内訳(95-00)

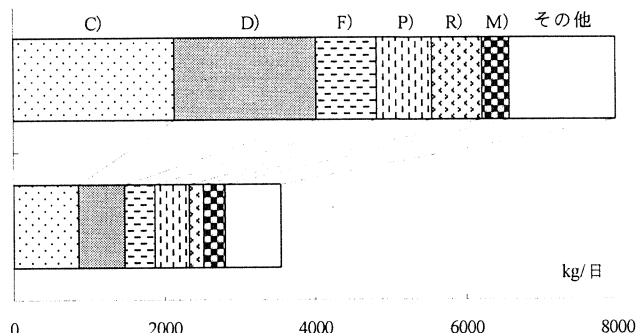


Fig. 2 BOD 負荷量統合大分類部門内訳(95-00)

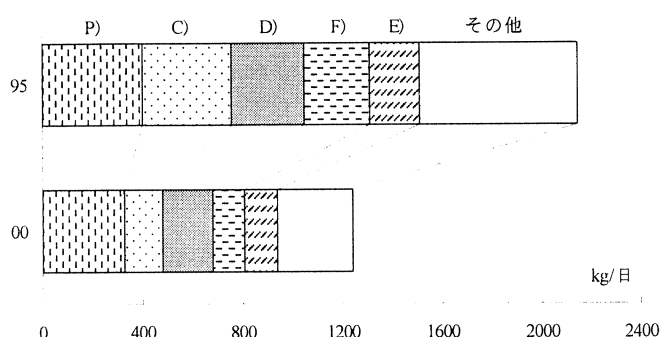


Fig. 3 T-N 負荷量統合大分類部門内訳(95-00)

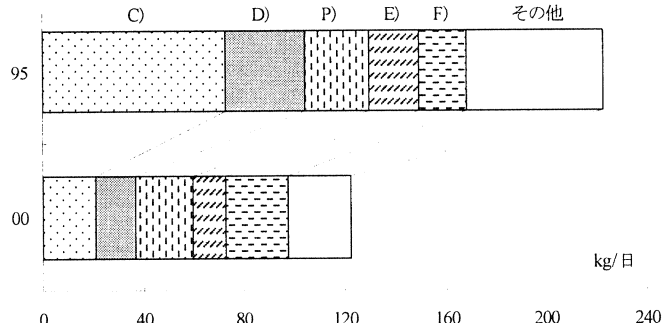


Fig. 4 T-P 負荷量統合大分類部門内訳(95-00)

Table 1 統合大分類部門の平均汚濁物質濃度、排水量、事業所数(95-00)

大分類部門	95 平均濃度*(mg/l)				00 平均濃度*(mg/l)				排水量(m ³ /日)		事業所数(件)	
	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	95	00	95	00
A) 農林水産業	6.3	1.0	18.8	2.50	7.2	1.5	6.9	1.08	60	158	1	4
B) 鉱業	90.9	139.6	8.3	1.60	95.9	149.7	5.6	1.54	82	72	22	20
C) 食料品	54.5	59.8	10.0	2.04	27.5	28.8	5.3	0.70	35677	29980	365	340
D) 繊維製品	31.4	23.6	3.6	0.40	22.2	12.1	3.9	0.31	79645	50383	195	168
E) パルプ・紙・木製品	32.9	10.1	6.5	0.63	29.3	8.2	4.3	0.43	31036	30979	44	47
F) 化学製品	9.5	9.3	3.0	0.22	6.4	4.6	1.4	0.10	86578	86811	94	90
G) 石油・石炭製品	1.6	3.0	0.8	0.03	11.3	9.2	3.7	0.00	288	119	3	3
H) 窯業・土石製品	8.0	4.6	3.0	0.20	4.0	1.8	1.8	0.10	35073	24771	158	157
I) 鉄鋼	4.1	4.2	4.7	0.20	5.0	2.6	3.4	0.24	455	458	6	7
J) 非鉄金属	9.7	3.2	2.5	0.35	5.7	1.5	1.4	0.13	3130	3146	11	13
K) 金属製品	6.8	6.8	4.0	0.35	4.9	2.5	2.7	0.38	12131	8467	64	62
L) 一般機械	11.2	7.9	6.0	0.68	5.3	2.8	3.3	0.28	7615	6577	60	59
M) 電気機械	9.9	8.2	3.5	0.21	7.2	5.6	2.4	0.19	46461	51630	73	76
N) 輸送機械	16.3	8.5	5.0	0.36	8.1	1.9	3.7	0.16	5536	5410	23	20
O) 精密機械	6.1	2.9	5.9	0.09	3.6	1.0	1.9	0.07	10438	9864	13	15
P) その他の製造工業製品	5.8	4.1	2.3	0.14	3.7	2.7	1.9	0.13	177281	171172	134	141
Q) 建設	7.5	6.8	1.3	0.30	20.4	20.4	8.0	0.60	575	1396	16	16
R) 商業	59.8	76.7	15.5	2.16	140.0	187.4	15.5	3.05	8569	1003	126	117
S) 不動産	197.3	247.1	7.3	1.71	197.6	246.3	6.8	0.98	41	41	3	3
T) 運輸	12.1	4.6	3.7	2.56	5.5	1.8	3.0	0.83	254	240	4	4
U) 教育・研究	6.1	7.4	4.2	0.48	4.6	3.3	3.3	0.30	5284	1774	11	11
V) その他公共サービス	114.2	146.3	14.3	2.53	47.0	63.0	13.9	2.07	119	111	5	6
W) 対事業所サービス	55.9	82.4	3.8	0.60	42.4	59.7	5.4	0.85	2419	1905	222	221
X) 対個人サービス	600.0	800.0	45.0	7.89	600.0	800.0	45.0	8.33	38	12	7	5
合計/平均	16.7	13.9	3.9	0.41	10.2	6.9	2.6	0.22	548784	486479	1660	1605

※平均濃度は部門ごとの負荷量合計を排水量合計で割ること求めた。

Table 2 統合大分類部門の生産額，負荷量，原単位(95-00)

大分類部門	生産額(百万円/年)		95 負荷量(kg/日)				00 負荷量(kg/日)				95 原単位(kg/百万円)				00 原単位(kg/百万円)			
	95	00	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P
A) 農林水産業	120982	95463	0	0	1	0.2	1	0	1	0.2	0.001	0.000	0.003	0.0005	0.004	0.001	0.004	0.0007
B) 鉱業	28251	22253	7	11	1	0.1	7	11	0	0.1	0.096	0.147	0.009	0.0017	0.112	0.176	0.007	0.0017
C) 食料品	475180	458999	1945	2134	357	72.6	825	862	158	21.0	1.494	1.639	0.274	0.0558	0.656	0.686	0.125	0.0167
D) 繊維製品	259540	145575	2499	1878	286	31.6	1119	609	198	15.8	3.515	2.640	0.402	0.0444	2.807	1.527	0.497	0.0396
E) パルプ・紙・木製品	243296	223745	1021	312	203	19.6	906	253	133	13.2	1.531	0.469	0.304	0.0294	1.479	0.413	0.217	0.0215
F) 化学製品	512935	470473	823	806	263	18.8	559	396	125	8.5	0.586	0.573	0.187	0.0134	0.433	0.307	0.097	0.0066
G) 石油・石炭製品	6969	9398	1	1	0	0.0	1	1	0	0.0	0.024	0.045	0.012	0.0008	0.052	0.043	0.017	0.0001
H) 窯業・土石製品	482552	404530	280	161	104	6.9	100	44	44	2.4	0.211	0.121	0.079	0.0052	0.090	0.040	0.039	0.0022
I) 鉄鋼	78622	78561	2	2	2	0.1	2	1	2	0.1	0.009	0.009	0.010	0.0004	0.011	0.006	0.007	0.0005
J) 非鉄金属	94473	108221	30	10	8	1.1	18	5	4	0.4	0.117	0.039	0.030	0.0043	0.061	0.015	0.014	0.0014
K) 金属製品	379728	328943	83	82	49	4.2	41	21	23	3.2	0.079	0.079	0.047	0.0040	0.046	0.023	0.025	0.0035
L) 一般機械	676554	888484	85	60	45	5.2	35	19	22	1.8	0.046	0.032	0.024	0.0028	0.014	0.008	0.009	0.0008
M) 電気機械	1667253	1622844	462	380	164	9.6	371	287	124	9.8	0.101	0.083	0.036	0.0021	0.083	0.064	0.028	0.0022
N) 輸送機械	508131	682141	90	47	28	2.0	44	10	20	0.9	0.065	0.034	0.020	0.0014	0.024	0.005	0.011	0.0005
O) 精密機械	57142	79900	64	30	62	0.9	36	10	19	0.7	0.409	0.191	0.395	0.0060	0.163	0.045	0.086	0.0031
P) その他の製造工業	717879	758192	1033	726	400	25.6	633	458	324	22.5	0.556	0.392	0.215	0.0138	0.305	0.221	0.156	0.0109
Q) 建設	1060556	937596	4	4	1	0.2	28	29	11	0.8	0.002	0.001	0.000	0.0001	0.011	0.011	0.004	0.0003
R) 商業	632363	540946	512	657	133	18.5	140	188	16	3.1	0.296	0.379	0.077	0.0107	0.095	0.127	0.010	0.0021
S) 不動産	500370	657133	8	10	0	0.1	8	10	0	0.0	0.006	0.007	0.000	0.0001	0.004	0.006	0.000	0.0000
T) 運輸	371913	336260	3	1	1	0.7	1	0	1	0.2	0.003	0.001	0.001	0.0006	0.001	0.000	0.001	0.0002
U) 教育・研究	463815	518085	32	39	22	2.5	8	6	6	0.5	0.025	0.031	0.018	0.0020	0.006	0.004	0.004	0.0004
V) その他公共サービス	77422	78889	14	17	2	0.3	5	7	2	0.2	0.064	0.082	0.008	0.0014	0.024	0.032	0.007	0.0011
W) 対事業所サービス	266389	272147	135	199	9	1.4	80	114	10	1.6	0.185	0.273	0.013	0.0020	0.108	0.153	0.014	0.0022
X) 対個人サービス	470845	472347	23	30	2	0.3	7	10	0	0.1	0.018	0.024	0.001	0.0002	0.006	0.007	0.000	0.0001
合計/平均	10153160	10191125	9156	7598	2143	222.5	4978	3350	1241	107.2	0.902	0.748	0.211	0.0219	0.488	0.329	0.122	0.0115

濁物質濃度と排水量は減少，生産額は増加しており，これら 3 つの原因の全てが原単位の減少に寄与していたことがわかる。

そこで次に，原単位減少に対する各原因の寄与率を求めてみる。(2)式のような乗除式における各変数の寄与率を求める手法としては Herendeen⁷⁾が提案したものがある。同手法に基づき(2)式から導出した(3)～(5)式を寄与率の算出に用いる。式中，各変数の添え字の 00 と 95 は，それぞれ 00 と 95 年の数値であることを表す。

濃度寄与率

$$\frac{\ln(C_{00}/C_{95})}{\ln(C_{00}/C_{95}) + \ln(Q_{00}/Q_{95}) - \ln(X_{00}/X_{95})} \quad (3)$$

排水量寄与率

$$\frac{\ln(Q_{00}/Q_{95})}{\ln(C_{00}/C_{95}) + \ln(Q_{00}/Q_{95}) - \ln(X_{00}/X_{95})} \quad (4)$$

生産額寄与率

$$\frac{-\ln(X_{00}/X_{95})}{\ln(C_{00}/C_{95}) + \ln(Q_{00}/Q_{95}) - \ln(X_{00}/X_{95})} \quad (5)$$

(3)～(5)式に Table 1 と 2 の平均汚濁物質濃度の平均，排水量の合計，生産額の合計を代入して，各減少原因の寄与率を求めた結果が Table 3 である。

表に示すように，期間中の原単位の減少への平均寄与率は濃度減少が約 72%，排水量減少が約 20%，生産額増加が約 7%であった。

Table 3 原単位減少原因別寄与率 (%)

原単位	COD	BOD	T-N	T-P	平均
濃度減少	73.6	82.6	52.5	80.4	72.3
排水量減少	19.4	12.8	35.0	14.5	20.4
生産額増加	7.0	4.6	12.5	5.2	7.3

なお，(2)式の各変数の 00/95 年比が 1 に近い場合には，(3)～(5)式中の各自然対数項を (6)式のように各変数の期間中の変化率で近似させて寄与率を求めることも可能である。

$$\ln\left(\frac{C_{00}}{C_{95}}\right) = \ln\left(1 + \frac{C_{00} - C_{95}}{C_{95}}\right) \approx \frac{C_{00} - C_{95}}{C_{95}} \quad (6)$$

しかし変化率が大きな場合，同近似法は誤差の原因となる。たとえば，(2)式において C, Q, X がそれぞれ期間中に 1.5, 1.5, 2.0 倍に増加したとすると，原単位は $1.5 \times 1.5 / 2.0 = 1.125$ 倍となるが，(6)式の近似法では (3)～(5)式の分母が 0 となり，寄与率を求めることができない。したがって，本研究では，後掲する(7)(8)式を含めて，すべて Herendeen の手法で寄与率を求めている。

3. 汚濁負荷量減少要因の特定

以上のように，基準年間の原単位減少の直接的な原因としては，濃度減少，排水量減少，生産額増加の 3 つの原因全てが寄与していたことが明らかとなった。特に濃度と排水量の積である負荷量の減少の寄与率が大きい。そこで次に，この負荷量減少の事業所側の要因を明らかにしていく。

各事業所における負荷量の減少要因としては，大きく a)汚

濁物質濃度削減対策, b)排水量削減対策, c)下水道への接続(全接続または一部接続), d)操業停止または事業規模縮小, 生産工程変更(経営的事由)の4つが考えられる。また a)から d)の複合形もあり得る。以下, 期間中の負荷量の減少に対するこれら4つの要因の寄与率を明らかにしていく。

3.1 減少要因の調査方法

負荷量減少要因の調査対象としては, 原単位の算定にあたって対象とした事業所のうち, 基準年間に負荷減少量が最も大きかった上位358件を対象とした。同358件の負荷減少量合計は対象事業所全体の減少量の平均で98%を占めた。

調査方法としては, 先行研究¹⁾でも報告したように, 同358件に対して郵送調査法によるアンケート調査を実施した。実施期間は2004年12月から2005年2月。同アンケートの質問内容は次のとおり。

- 1) 期間中の汚濁物質濃度削減対策の有無, 方法, 95年を基準としたときの対策による濃度削減率
- 2) 期間中の排水量削減対策の有無, 方法, 95年を基準としたときの対策による排水量削減率
- 3) 期間中の下水道接続の有無, 接続形態, 95年を基準としたときの接続による排水量削減率

また, Fig. 5に示すように, 郵送したアンケートが宛先不明で返ってきた場合や返信がなかった場合, あるいは返信があっても減少要因の記述がなかった場合には, 電話調査やインターネット(Web)調査, 現地調査などを追加で実施した。

以上のような調査の結果, 358件中216件について減少要因に関する情報を得ることができた。しかし, 同情報を基に先行研究において減少要因の特定を試みた結果, 最終的に要因まで特定できたのは216件中151件(負荷減少量全体の約49%)であった。

そこで, 本研究では, 要因を特定できなかった残りの207件を対象に, 負荷減少量の大きい順に, 電話とFaxによる再調査を実施した(実施期間は2005年9月から10月)。その結果として, 新たに52件の減少要因に関する情報が得られた。先行研究の調査結果とあわせると, 203件の要因情報が得られたことになる。ただし, この52件のうち, 以下に示す減少要因の分析方法で要因まで特定できたのは44件のみであった。その結果, 最終的に減少要因を特定することができたのは358件中195件(負荷減少量全体の約76%)となった。

3.2 暫定的減少要因別の負荷減少量の分類

前述した調査結果の情報に基づき, 減少要因を特定するための第一段階として, 暫定的減少要因(Table 4の①から⑦)別に回答事業所を分類した。

(1) 生産額の増減による負荷減少量の分割

暫定的減少要因別の分類手順の第1ステップとしては, 減少要因に関する情報が得られなかった事業所も含めた358件の各事業所について, 生産額の00/95年比(X_{00}/X_{95})

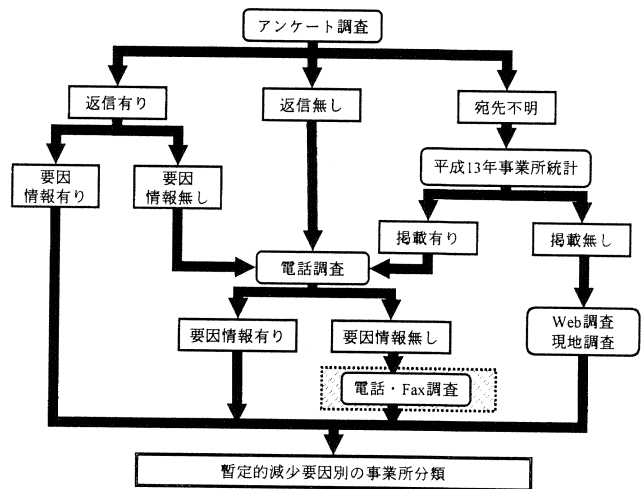


Fig. 5 減少要因の調査フロー

に基づいて, 基準年間の負荷減少量を生産額の減少(Table 4⑥の事業規模縮小)による減少量とその他の対策(Table 4①から⑦, ただし, ⑥を除く)による減少量に分割した。前掲の原単位の算定式(2)式に従えば, 生産額の減少に比例して, 経済活動に伴って生じる負荷量も減少すると考えられるためである。この第1ステップを追加したことが, 分析方法としての先行研究¹⁾からの最大の改善点となる。同負荷減少量分割の考え方をFig. 6に図示する。

なお, 事業所ごとの正確な生産額は把握が困難なため, 連関表小分類部門ごとの生産額の期間中の00/95年比を同部門に属する各事業所の生産額の00/95年比として用いた。以下に, 負荷減少量を分割する作業手順を示す。

まず, 生産額が減少していた事業所($X_{00}/X_{95} < 1$)については,

- 1) $\Delta L' = L_{95}(1 - X_{00}/X_{95})$ を事業所ごとに算出する。ここで, $\Delta L'$ は生産額減少に相当する負荷減少量である。
- 2) $\Delta L'$ と $\Delta L = L_{95} - L_{00}$ (実際の負荷減少量)を比較する。

$\Delta L' \geq \Delta L$ の場合

生産額減少に相当する負荷減少量 $\Delta L'$ が実際の負荷減少量 ΔL より大きい場合は期間中の負荷減少量がすべて生産額減少によるものと見なし, 期間中に実施された対策の有無に関わらず実際の負荷減少量 ΔL を Table 4⑥(事業規模縮小)に分類する。

$\Delta L' < \Delta L$ の場合

生産額減少に相当する負荷減少量 $\Delta L'$ が実際の負荷減少量 ΔL よりも小さい場合は, ΔL のうち $\Delta L'$ だけが生産額減少によるものと考え, $\Delta L'$ を⑥に分類する。残りの負荷量 $\Delta L - \Delta L'$ は第2ステップで①から⑦へ分類する。

一方, 生産額が期間中に増加していた事業所($X_{00}/X_{95} \geq 1$)については, 実際の負荷減少量 $\Delta L = L_{95} - L_{00}$ を次の第2ステップで①から⑦に分類する。

原単位の算定式(2)式に従えば, 生産額が増加すれば負荷量も $\Delta L'' = L_{95} \times (X_{00}/X_{95} - 1)$ 増加することになる。このため期間中には, 対策等によって実際の負荷減少量 ΔL にこの $\Delta L''$ が加わった負荷量 $\Delta L + \Delta L''$ が削減されたことになる。

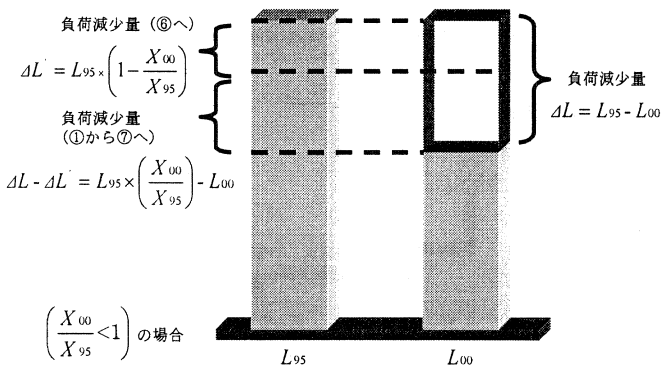


Fig. 6 汚濁負荷減少量の分割の考え方(生産額減少時)

(Fig. 7 参照).

ただし、要因別の減少の比率は $\Delta L + \Delta L''$ と ΔL とで同じであると考えられることと、本研究で要因解明の対象とするのは、あくまで基礎データとして期間中に減少していた負荷減少量 ΔL であることから、 ΔL のみを第 2 ステップで①から⑦へ分類する。

以上の第 1 ステップで⑥に分類された負荷量は、期間中の負荷減少量全体の 15% になった。

(2) 暫定的減少要因別の事業所分類

続いて第 2 ステップとして、第 1 ステップで暫定的減少要因⑥に分類できなかった負荷減少分を Table 4 に示すルールに従って同表の 7 種類に暫定的に分類した。

分類のルールとしては、まず期間中に実施された対策が濃度削減、排水量削減、下水道接続のいずれか 1 つであり、それにともない期間中の基礎データの濃度または排水量が同対策と矛盾せず減少していた事業所については、同事業所の負荷減少量 ΔL ($X_{00}/X_{95} \geq 1$) または $\Delta L - \Delta L'$ ($X_{00}/X_{95} < 1$) を、それぞれ Table 4 の①②③に分類した。なお、濃度については基礎データの汚濁物質のいずれか 1 つでも減少していれば、濃度削減対策の結果であると判断した。

また、期間中に実施された対策が濃度削減、排水量削減、下水道接続のいずれか 2 つ以上であり、それにともない期間中の基礎データの濃度または排水量が同対策と矛盾せず減少していた事業所については、同事業所の負荷減少量 ΔL ($X_{00}/X_{95} \geq 1$) または $\Delta L - \Delta L'$ ($X_{00}/X_{95} < 1$) を、それぞれ Table 4 の④⑤に分類した。ただし、回答事業所のうち、濃度削減と下水道接続、あるいは 3 つの対策を期間中に同時に実施していた事業所はなかった。

追加および再調査によって、期間中に操業を停止、または事業規模を縮小、生産工程を変更していたことが判明した事業所については Table 4 の⑥に分類した。なお、これらの事業所のうち、期間中に負荷量削減対策を同時に実施していた事業所は存在しなかった。

ただし、回答事業所 203 件のうち 8 件は、①から⑥のいずれにも該当せず、Table 4 ⑦「不明」に分類せざるを得なかった。濃度や排水量削減対策を実施していても、それ

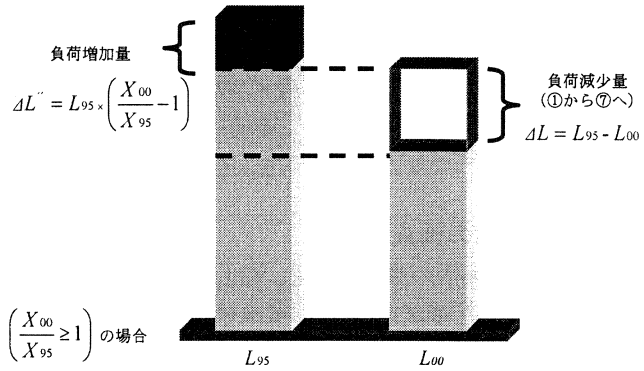


Fig. 7 汚濁負荷減少量の分割の考え方(生産額増加時)

に伴い基礎データの濃度や排水量が減少していなかった事業所や、基礎データが減少していたにも関わらず、期間中に対策が実施されていなかった事業所などがこの 8 件に含まれる。

基礎データは 5 年ごとに策定される湖沼水質保全計画のために集計されたものであり、必ずしも該当する基準年における濃度や排水量を表しているものではない。したがって、このことが回答内容と基礎データの整合が取れていない回答事業所が数件あった原因の一つとして考えられる。

また、減少要因の情報が一切得られなかった 155 件もこの⑦「不明」に分類した。

3.3 減少要因別・原因別負荷減少量の算定方法

次に、減少要因を特定するための第二段階として、前述の減少要因 a) から d) までの期間中の寄与率と汚濁負荷減少量を求めていく。そのためにまず次の 2 つの作業を行う。

1) 式(7)(8)を用いて Table 4 ①から⑦の暫定的減少要因分類ごとに、負荷減少量を原因(濃度と排水量)別に按分する。

濃度減少寄与率

$$\frac{\ln(C_{00}/C_{95})}{\ln(C_{00}/C_{95}) + \ln(Q_{00}/Q_{95})} \quad (7)$$

排水量減少寄与率

$$\frac{\ln(Q_{00}/Q_{95})}{\ln(C_{00}/C_{95}) + \ln(Q_{00}/Q_{95})} \quad (8)$$

2) 上記で求めた Table 4 ④⑤の原因別負荷減少量をさらに減少要因別に按分する。

作業の第 3 ステップとして、Table 4 ①から⑦の暫定的減少要因分類別の負荷減少量をそれぞれ、原因(濃度または排水量)別に按分する。

これは、濃度あるいは排水量削減、下水道接続のいずれか 1 つの対策しか実施していない事業所であっても、それら事業所の集合体(部門)として見た場合には、平均汚

Table 4 暫定的減少要因別の負荷量分類ルールと汚濁負荷減少量

暫定的減少要因分類	基礎データ(95-00)		要因情報(95-00)			負荷減少量(kg/日)(%)			
	排水量	濃度	濃度対策	排水対策	下水接続	COD	BOD	T-N	T-P
①濃度削減対策	—	減少	有り	無し	無し	326.0(7.4)	304.6(6.8)	38.9(3.7)	5.11(3.9)
②排水量削減対策	減少	—	無し	有り	無し	104.6(2.4)	112.4(2.5)	23.5(2.3)	2.70(2.1)
③下水道接続	減少	—	無し	無し	有り	166.2(3.8)	240.8(5.4)	44.3(4.3)	3.66(2.8)
④濃度・排水対策	減少	減少	有り	有り	無し	386.7(8.8)	398.8(8.9)	210.1(20.2)	38.40(29.7)
⑤排水対策・下水接続	減少	—	無し	有り	有り	115.2(2.6)	14.7(0.3)	7.5(0.7)	3.11(2.4)
⑥操業停止など*	調査および第 1 ステップの作業で特定					2177.0(49.7)	2172.4(48.5)	468.2(45.0)	53.20(41.1)
⑦不明	上記①～⑥のいずれにも該当しない					1108.2(25.3)	1235.7(27.6)	248.5(23.9)	23.20(17.9)
合計						4384.0(100.0)	4479.5(100.0)	1040.9(100.0)	129.4(100.0)

※操業停止または事業規模縮小, 生産工程変更

濁物質濃度と総排水量の双方が減少しているためである。したがって、負荷量減少の直接的な原因から捉えと、負荷減少量を濃度と排水量ベースの減少量に分けて考えることができる。それぞれの原因別の寄与率を計算するための式が (7)(8) 式である。また、原因別寄与率を負荷減少量に乗じたものが原因別負荷減少量となる。④⑤を除いては、以上によって減少要因別かつ原因別の負荷減少量を求めることができる。

続いて作業の第 4 ステップとしては、上記で求めた④⑤の原因別負荷減少量をさらに減少要因別に按分する。

④は濃度と排水量の両方の削減対策を実施していた事業所である。これら事業所に対しては、まず式(7)(8)を用いて、事業所ごとに濃度と排水量の減少率から減少要因別寄与率と負荷減少量を求める。その後、要因別に合計して④全体の減少要因別負荷減少量を求め、そこから④全体の減少要因別寄与率を求めた。ただし、期間中に公共用水域への排水量が 10 t/日未満となり 00 年の基礎データがない事業所が 7 件、この④には含まれていた。これらの事業所に関しては、95 から 00 年にかけての濃度比がわからないことから、濃度と排水量の減少要因別寄与率とともに 50%と仮定して減少要因別負荷減少量を求めた。最後に、以上の作業によって求めた④全体の減少要因別寄与率を第 3 ステップで求めた原因別負荷減少量に乗じて、減少要因別かつ原因別の負荷減少量を求めた。

また、⑤は排水量削減対策と下水道接続の両方を実施していた事業所である。これら事業所に関しては、アンケートで回答させた両対策による事業所ごとの排水量の削

減率から、両対策による⑤全体としての排水削減量をそれぞれ求め、削減量の比を減少要因別寄与率と捉え、同寄与率を第 3 ステップで求めた原因別負荷減少量に乗じることで、減少要因別かつ原因別の負荷減少量を求めた。

3.4 減少要因の寄与率

以上の作業によって求められた減少要因別かつ原因別の負荷減少量をまとめたものが Table 5 である。表には、減少要因・原因別の負荷減少量を、減少要因調査対象事業所の期間中の負荷減少量に対する寄与率とともに示している。表に示すように、95 から 00 年にかけての滋賀県公共用水域への負荷量の減少要因(寄与率)は、濃度削減対策が約 18%、排水量削減対策が約 7%、下水道接続が約 5%、操業停止または事業規模縮小、生産工程変更が約 46%、不明が約 24%という結果となった。減少要因としては、不明を除いて考えると、濃度や排水量削減などの事業所の自主的な対策よりも、むしろ期間中の操業停止や事業規模縮小といった対象事業所の経営上の理由によって、琵琶湖への汚濁負荷量が大きく減少していたようである。

4. まとめ

本研究では、琵琶湖への産業系水質汚濁負荷量の連関表生産額当たりの汚濁負荷原単位(188 部門)を 95 と 00 年の 2 つの基準年について算定した。その結果、両基準年の間に、原単位が平均で約 50%減少していることが明らかとなった。

Table 5 減少要因、原因別の汚濁負荷減少量と減少寄与率

		負荷減少量(kg/日)				寄与率(%)				
		COD	BOD	T-N	T-P	COD	BOD	T-N	T-P	平均
a)濃度削減対策	濃度ベース	452	486	128	32.1	10	11	12	25	14.6
	排水量ベース	113	67	47	6.3	3	2	4	5	3.3
b)排水量削減対策	濃度ベース	183	205	678	7.0	4	5	6	5	5.1
	排水量ベース	105	63	33	1.9	2	1	3	1	2.1
c)下水道接続	濃度ベース	68	100	94	1.9	2	2	1	1	1.5
	排水量ベース	178	151	40	3.9	4	3	4	3	3.6
d)操業停止等	濃度ベース	160	1811	321	42.1	37	40	31	33	35.1
	排水量ベース	573	361	147	11.1	13	8	14	9	11.0
e)不明	濃度ベース	1044	1189	231	21.5	24	27	22	17	22.3
	排水量ベース	64	46	18	1.7	1	1	2	1	1.4
358 件		4384	4480	1041	129.4	100	100	100	100	100.0

また、同原単位減少の主要な原因である負荷量の減少の要因としては、事業所の操業停止または事業規模縮小、生産工程変更による平均寄与率が約 46%、濃度削減対策が 18%、排水量削減対策が 7%、下水道接続が 5%であったことが明らかになった。このことは、96 年に施行された排水基準の適用事業所の裾下げや事業所の自主的な取り組みによって負荷量が減少したのではなく、主に、事業所の経営的事由によって期間中に負荷量が減少したことを示唆している。

以上のように、汚濁負荷原単位を算定し、原単位あるいは負荷量の増減要因を特定する手法としては、本研究によってほぼ確立できたものと考えられる。本研究の基礎となったデータは、琵琶湖の湖沼水質保全計画を策定する際に使用されたものである。湖沼法の指定を受けている湖沼であれば、同様の基礎データが存在する可能性が高く、本研究で提案した手法を適用できると考えられる。

ただし、本研究では、日排水量 10 t/日未満の小規模事業所から琵琶湖に排出されている産業系負荷量や事業所の下水道接続によって、下水道終末処理場を経由し、生活系負荷として排出されている産業系負荷量の把握と同原単位の算定ができていない。今後の展望としては、上記の課題を解決し、産業活動の影響をより正確に評価できる汚濁負荷原単位の算定を試みる予定である。

謝辞：本研究の一部は、科学技術振興事業団および滋賀県地域結集型共同研究事業「環境調和型産業システム構築のための基盤技術の開発」の助成を受けて実施したものである。ここに記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 石本貴之、井手慎司：水質汚濁負荷量の流入原単位の算定と減少要因の特定に関する研究－滋賀県の工業系水質汚濁負荷を対象として－，第 33 回環境システム研究論文発表会講演集，199-205，2005。
- 2) 滋賀県県民企画部統計課：平成 7，12 年滋賀県産業連関表，2000，2005。
- 3) 滋賀県・京都府：琵琶湖に関わる水質保全計画（4 次湖沼計画），2002。
- 4) 総務省統計局：平成 13 年度事業所・企業統計資料，2004。
- 5) (財)滋賀総合研究所滋賀県中小企業情報センター：滋賀県企業要覧，1986，1992，1996。
- 6) 滋賀産業支援プラザ：滋賀県企業要覧，2003。
- 7) Herendeen, R.A.: Ecological Numeracy --Quantitative Analysis of Environmental Issues--, pp.28-46. John Wiley & Sons Inc., 1998。