

# 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 —滋賀県の工業系汚濁負荷を対象として—

石本 貴之<sup>1</sup>・井手 慎司<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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)  
E-mail: taka\_taf@earth.livedoor.com

<sup>2</sup> Ph.D. 滋賀県立大学助教授 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、琵琶湖への工業系水質汚濁負荷量の産業連関表生産額当たりの流入原単位(186 部門)を 1995 年と 2000 年の両基準年について算定した。その結果、両基準年間に工業系負荷量が大幅に減少しており、原単位が平均 49%減少していることが明らかとなった。また、同負荷量減少の要因を事業所アンケート等によって調査したところ、事業所の操業停止または事業規模縮小による減少分(平均寄与率)が約 27%、濃度削減対策が約 9%、排水量削減対策が約 8%、下水道接続が約 4%であることが明らかになった。

**Key Words :** input-output analysis, interindustry table, Shiga, pollutant load factor, water pollutants

## 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、企業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、廃棄物量、CO<sub>2</sub> 排出量、水質汚濁負荷量を予測できる経済モデルの構築を目指している。<sup>1)</sup>

本研究の目的は、上記経済モデル構築の一環として、琵琶湖への工業系汚濁負荷量の産業連関表<sup>2)</sup>生産額当たりの流入原単位を 1995 年と 2000 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。

流入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工業系汚濁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同汚濁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。

そのため本研究では、水質汚濁防止法等に基づく特定施設設置事業場(以下「対象事業所」)の 95 年と 00 年の公共用水域への排水データを産業連関表小分類(186 部門)に分類し、部門ごとに排出汚濁負荷量日合計を算出、

これらを該当部門の 95 年滋賀県産業連関表生産額(以下「生産額」)と 00 年推計生産額で割ることで、部門毎の流入原単位を求める。ここで言う原単位とは「金額 1 単位あたり(たとえば 100 万円)の製品を製造する際に副次的に発生する汚濁物質」のことである。

また両基準年間に排出汚濁負荷量が減少していた上位 358 社に対してアンケート調査を実施して、減少要因の特定と減少寄与率の算定を試みる。

なお本研究では、すべての作業を産業連関表小分類(186 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、産業連関表統合大分類(32 部門)に再集計した形で結果を報告する。

## 2. 流入原単位の算定

### (1) 排水データの説明

95 年と 00 年の対象事業所からの排水データについては、滋賀県が両年の湖沼水質保全計画を策定する際に使用した汚濁負荷算定基礎データ(以下「排水データ」)(95 年が 1724 件、00 年は 1649 件)を使用する。同データは暦年ではなく年度データであるが、本研究では使用する他のデータのほとんどが暦年であるため、排水データについても暦年として扱う。また本研究では後述するように、

00年の生産額を工業統計を用いて推計するため、同じく後述する分類によって工業系(製造業、と畜業、クリーニング業)と判明した対象事業所(95年が1483件、00年は1436件)のみを以下の分析の対象とする。

排水データには、対象事業所ごとの排水量(t/日)、汚濁物質(COD、BOD、T-N、T-P)濃度(mg/l)、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滿の分類)、業種区分(日本標準産業分類中分類)などが含まれる。

このうち汚濁物質濃度には、実測値と業種値の二種類がある。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30t/日以上と未滿」が00年には「排水量10t/日以上と未滿」と変わっている。これは96年に「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30t/日以上から10t/日以上に切り下げられたためである。したがって95年の排水データには30t/日未滿、00年には10t/日未滿の事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30t/日以上を対象事業所については実測値を、未滿の対象事業所については業種値を用いることとする。

## (2) 排水データの分類と汚濁負荷量の算定

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(排水データ)を産業連関表小分類(186部門)に分類した。主要事業の特定に当たっては以下の手順とルールを用いた。なお同分類手順は、前年度報告したもの<sup>1)</sup>を改良したものである。これによって分類不明件数は先に報告した95年の1724件中213件(12%)が57件(3.3%)に、00年の1649件中174件(11%)は40件(2.5%)へと大幅に減少している。

### 【分類手順】

- 1) 平成13年度事業所・企業統計資料(総務省)を用いて、95年と00年の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産業連関表小分類が一意に特定できる事業所については、特定できた産業連関表小分類に分類する。
- 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産業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)<sup>4、5)</sup>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) 最後に、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産業連関表小分類に該当事業所を分類する。

上記の分類手順によって、産業連関表小分類に分類できた対象事業所については、排水データを用いて95年と00年の汚濁負荷量の日合計(Σ汚濁物質濃度×排水量)を小分類毎にそれぞれ求めた。一方、分類できなかった事業所については分類不明とした。分類不明の事業所については以下の分析に含めていない。

## (3) 2000年推計生産額と流入原単位の算定

研究時点では、00年滋賀県産業連関表が公表されていなかったために、工業統計から、00年の生産額を推計することとした。推計フローを図-1に示す。

手順としては、まず滋賀県地域結集型共同研究事業所が作成したコンバータを用いて、95年と00年の滋賀県工業統計出荷額を工業統計推計生産額に変換する(図-1の①と②)。

次に①の95年工業統計推計生産額を同年の実際の生産額③と比較して部門ごとに③/①の比(変換誤差⑤)を評価する。ちなみに①と③の相関係数は非常に高く $r^2=0.98$ であった。続いて⑤を補正係数として、②の00年工業統計推計生産額にこれに乗じて、00年の推計生産額④を産業連関表小分類ごとに求めた。

最後に(2)で求めた小分類毎の汚濁負荷量日合計を以上の③と④の部門生産額で割ることで95年と00年の流入原単位をそれぞれ算定した。

## (4) 流入原単位の算定結果

以上の作業によって算定された原単位を、x軸を95年、

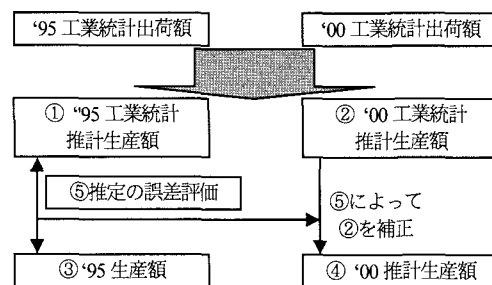


図-1 工業統計から生産額の推計フロー

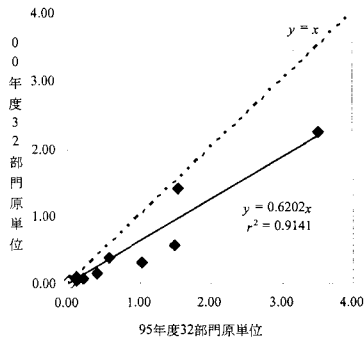


図-2 32 部門 COD 原単位(kg/百万円)比較(95-00)

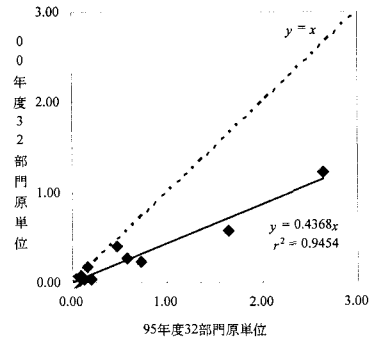


図-3 32 部門 BOD 原単位(kg/百万円)比較(95-00)

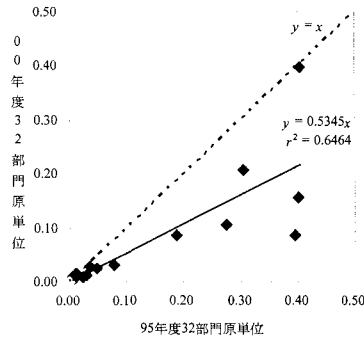


図-4 32 部門 T-N 原単位(kg/百万円)比較(95-00)

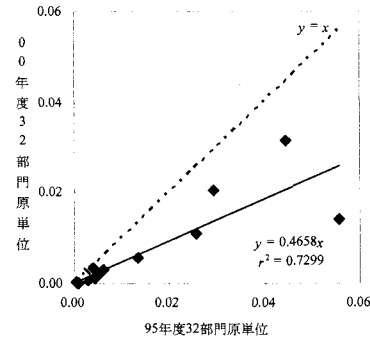


図-5 32 部門 T-P 原単位(kg/百万円)比較(95-00)

y 軸を 00 年としてプロットしたものが図-2 から 5 である。ただし、図では 32 部門に再集計しなおした原単位を示している。また両基準年の原単位間の関係を線形近似した直線と直線式、その相関係数、両者が一致する場合の  $y=x$  の直線もあわせて表示している。図より COD、BOD、T-N、T-P に関する近似直線の傾きはそれぞれ 0.62、0.44、0.53、0.47(平均 0.51)と、全ての汚濁物質において傾きが約 1/2 になっていた。

また、表-1 と 2 に 32 部門で求めた 95 年と 00 年の平均汚濁物質濃度、排水量、生産額、負荷量、原単位を示す。ただし 32 部門の分類とはいえ、滋賀県内に事業所がある工業系の業種のみを対象としているため、実際は 15 部門の結果となっている。

#### (5) 原単位の減少原因に関する考察

95 年と 00 年の比較から、この間に全ての汚濁物質の原単位が全体的に半減していることが明らかになった。

減少の原因としては、原単位の定義式(1)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、表-1 と 2 より、平均汚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。

$$\frac{CQ}{X} \frac{365 \text{ 日/年}}{1000 \text{ g/kg}} \quad (1)$$

ここで、 $C$ ：平均汚濁物質濃度(mg/l or g/m<sup>3</sup>)、 $Q$ ：排水量(t/日 or m<sup>3</sup>/日)、 $X$ ：生産額(百万円/年)。

そこで次に、原単位減少に対する各原因の寄与率を求める。式(1)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 Herendeen<sup>9)</sup>が提案したものがあ。同手法に基づき式(1)から導出した式(2)～(4)を用いて、各減少原因の寄与率を求めた結果が表-3 である。

表に示すように、期間中の原単位の減少への寄与率は濃度減少が約 82%、排水量減少が約 12%、生産額増加が約 6%であった。

$$\frac{\ln(C_{00}/C_{95})}{\ln(C_{00}/C_{95}) + \ln(Q_{00}/Q_{95}) - \ln(X_{00}/X_{95})} \quad (2)$$

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

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

なお式(1)の各変数の変化率が 1 よりかなり小さい場合には、式(2)～(4)中の各自然対数項を式(5)のよう

表-1 工業系 32 部門の平均汚濁物質濃度、排水量、生産額(1995-2000 年)

| 産業連関表統合大分類 | '95 平均濃度(mg/l) |       |      |      | '00 平均濃度(mg/l) |       |     |      | 排水量(t/日) |        | 生産額(百万円/年) |         |
|------------|----------------|-------|------|------|----------------|-------|-----|------|----------|--------|------------|---------|
|            | COD            | BOD   | T-N  | T-P  | COD            | BOD   | T-N | T-P  | '95      | '00    | '95        | '00 推計  |
| 鉱業         | 90.9           | 139.6 | 8.3  | 1.59 | 95.9           | 149.7 | 5.6 | 1.49 | 82       | 72     | 24451      | 22144   |
| 食料品        | 55.9           | 61.3  | 10.3 | 2.09 | 27.5           | 28.8  | 5.3 | 0.70 | 34827    | 29980  | 475180     | 541190  |
| 繊維製品       | 31.5           | 23.7  | 3.6  | 0.40 | 22.2           | 12.1  | 3.9 | 0.31 | 79223    | 50383  | 259540     | 181850  |
| 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  | 243296     | 235364  |
| 化学製品       | 9.5            | 9.3   | 3.0  | 0.22 | 6.4            | 4.6   | 1.4 | 0.10 | 86456    | 86811  | 512935     | 531019  |
| 石油・石炭製品    | 1.6            | 3.0   | 0.8  | 0.05 | 11.3           | 9.2   | 3.7 | 0.03 | 288      | 119    | 6969       | 9582    |
| 窯業・土石製品    | 8.0            | 4.6   | 3.0  | 0.20 | 4.0            | 1.8   | 1.8 | 0.10 | 35073    | 24771  | 482552     | 510545  |
| 鉄鋼         | 4.1            | 4.2   | 4.7  | 0.19 | 5.0            | 2.6   | 3.4 | 0.23 | 455      | 458    | 78622      | 73758   |
| 非鉄金属       | 9.7            | 3.2   | 2.5  | 0.35 | 5.7            | 1.4   | 1.3 | 0.13 | 3130     | 3146   | 94473      | 111179  |
| 金属製品       | 6.8            | 6.8   | 4.0  | 0.35 | 4.8            | 2.5   | 2.7 | 0.38 | 12131    | 8467   | 379728     | 332803  |
| 一般機械       | 11.2           | 7.9   | 6.0  | 0.68 | 5.3            | 2.8   | 3.3 | 0.28 | 7615     | 6577   | 676554     | 872742  |
| 電気機械       | 9.9            | 8.2   | 3.5  | 0.21 | 7.2            | 5.6   | 2.4 | 0.19 | 46461    | 51630  | 1667253    | 1520381 |
| 輸送機械       | 4.8            | 4.8   | 1.5  | 0.28 | 8.1            | 1.8   | 3.7 | 0.17 | 5536     | 5410   | 508131     | 702191  |
| 精密機械       | 6.1            | 2.9   | 5.9  | 0.09 | 3.6            | 1.0   | 1.9 | 0.07 | 10438    | 9864   | 57142      | 80007   |
| その他の製造工業製品 | 11.6           | 8.2   | 4.5  | 0.29 | 3.7            | 2.7   | 1.9 | 0.13 | 177281   | 171172 | 723982     | 755747  |
| 合計         | 17.7           | 13.8  | 4.4  | 0.42 | 9.8            | 6.2   | 2.5 | 0.21 | 530880   | 480539 | 6190808    | 6480502 |

表-2 工業系 32 部門の生産額、負荷量、原単位(1995-2000 年)

| 産業連関表統合大分類 | 生産額<br>(百万円/年) |         | '95 負荷量<br>(kg/日) |      |      |       | '00 負荷量<br>(kg/日) |      |      |       | '95 原単位<br>(kg/百万円) |       |       |        | '00 原単位<br>(kg/百万円) |       |       |        |
|------------|----------------|---------|-------------------|------|------|-------|-------------------|------|------|-------|---------------------|-------|-------|--------|---------------------|-------|-------|--------|
|            | '95            | '00 推計  | COD               | BOD  | T-N  | T-P   | COD               | BOD  | T-N  | T-P   | COD                 | BOD   | T-N   | T-P    | COD                 | BOD   | T-N   | T-P    |
| 鉱業         | 24451          | 22144   | 7                 | 11   | 1    | 0.1   | 7                 | 11   | 0    | 0.1   | 0.111               | 0.170 | 0.010 | 0.0019 | 0.113               | 0.176 | 0.007 | 0.0018 |
| 食料品        | 475180         | 541190  | 1945              | 2134 | 357  | 72.6  | 825               | 862  | 158  | 21.0  | 1.494               | 1.639 | 0.274 | 0.0558 | 0.556               | 0.582 | 0.106 | 0.0142 |
| 繊維製品       | 259540         | 181850  | 2499              | 1877 | 286  | 31.6  | 1119              | 609  | 198  | 15.8  | 3.515               | 2.640 | 0.402 | 0.0444 | 2.247               | 1.222 | 0.398 | 0.0317 |
| パルプ・紙・木製品  | 243296         | 235364  | 1021              | 312  | 203  | 19.6  | 906               | 253  | 133  | 13.2  | 1.531               | 0.469 | 0.304 | 0.0294 | 1.406               | 0.392 | 0.207 | 0.0205 |
| 化学製品       | 512935         | 531019  | 823               | 806  | 263  | 18.8  | 559               | 396  | 125  | 8.5   | 0.586               | 0.573 | 0.187 | 0.0134 | 0.384               | 0.272 | 0.086 | 0.0058 |
| 石油・石炭製品    | 6969           | 9582    | 0                 | 1    | 0    | 0.0   | 1                 | 1    | 0    | 0.0   | 0.024               | 0.045 | 0.012 | 0.0008 | 0.051               | 0.042 | 0.017 | 0.0001 |
| 窯業・土石製品    | 482552         | 510545  | 280               | 160  | 104  | 6.9   | 100               | 44   | 43   | 2.4   | 0.211               | 0.121 | 0.079 | 0.0052 | 0.071               | 0.032 | 0.031 | 0.0017 |
| 鉄鋼         | 78622          | 73758   | 2                 | 2    | 2    | 0.1   | 2                 | 1    | 2    | 0.1   | 0.009               | 0.009 | 0.010 | 0.0004 | 0.011               | 0.006 | 0.008 | 0.0005 |
| 非鉄金属       | 94473          | 111179  | 30                | 10   | 8    | 1.1   | 18                | 5    | 4    | 0.4   | 0.117               | 0.039 | 0.030 | 0.0043 | 0.059               | 0.015 | 0.014 | 0.0013 |
| 金属製品       | 379728         | 332803  | 83                | 82   | 49   | 4.2   | 41                | 21   | 23   | 3.2   | 0.079               | 0.079 | 0.047 | 0.0040 | 0.045               | 0.023 | 0.025 | 0.0035 |
| 一般機械       | 676554         | 872742  | 85                | 60   | 45   | 5.2   | 35                | 19   | 22   | 1.8   | 0.046               | 0.032 | 0.024 | 0.0028 | 0.015               | 0.008 | 0.009 | 0.0008 |
| 電気機械       | 1667253        | 1520381 | 462               | 380  | 164  | 9.6   | 371               | 287  | 124  | 9.8   | 0.101               | 0.083 | 0.036 | 0.0021 | 0.089               | 0.069 | 0.030 | 0.0023 |
| 輸送機械       | 508131         | 702191  | 27                | 27   | 8    | 1.5   | 44                | 10   | 20   | 0.9   | 0.019               | 0.019 | 0.006 | 0.0011 | 0.023               | 0.005 | 0.010 | 0.0005 |
| 精密機械       | 57142          | 80007   | 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 |
| その他の製造工業製品 | 723982         | 755747  | 2055              | 1451 | 797  | 51.0  | 633               | 458  | 324  | 22.5  | 1.036               | 0.732 | 0.402 | 0.0257 | 0.306               | 0.221 | 0.156 | 0.0109 |
| 合計/平均      | 6190808        | 6480502 | 9383              | 7344 | 2349 | 223.2 | 4697              | 2986 | 1195 | 100.4 | 0.553               | 0.433 | 0.139 | 0.0132 | 0.265               | 0.168 | 0.067 | 0.0057 |

表-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  | 80.3 | 84.6 | 79.9 | 82.7 | 81.9 |
| 排水量減少 | 13.5 | 10.5 | 13.8 | 11.9 | 12.4 |
| 生産額増加 | 6.2  | 4.9  | 6.4  | 5.5  | 5.7  |

$$\ln\left(\frac{C_{00}}{C_{95}}\right) = \ln\left(1 + \frac{C_{00} - C_{95}}{C_{95}}\right) \approx \frac{C_{00} - C_{95}}{C_{95}} \quad (5)$$

に各変数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。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、式(1)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  $1.5 \cdot 1.5 / 2.0 = 1.125$  倍となるが、式(5)の近似法では式(2)～(4)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、後掲する式(6) (7)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汚濁負荷量の減少が大きい。そこで次に汚濁負荷量減少の事業所側の要因を明らかにしていく。

各事業所における汚濁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、期間中の汚濁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。

#### (1) 減少要因の調査方法

汚濁負荷量減少要因の調査対象としては、原単位の算

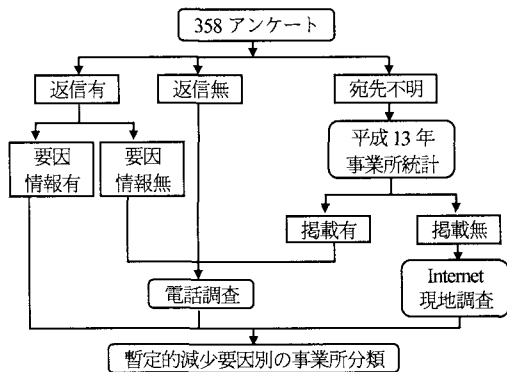


図-5 減少要因の調査フロー

定にあたって対象とした工業系事業所のうち、95年から00年にかけての負荷減少量が最も大きかった上位358社を対象とした。同358社の負荷量が全体に占める割合は95年と00年でそれぞれ68.2%と33.1%であった。また358社の期間中の負荷減少量は工業系事業所全体の減少量の平均で98%を占めていた。

調査方法としては、滋賀県産業支援プラザと共同で、同358社に対して郵送調査法によるアンケート調査(以下「358 アンケート」)を実施した。同アンケートの質問内容は以下のとおり。

- 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

また図-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。ただし後述するように、同216件(以下「回答事業所」)のうち最終的に減少要因を特定できたのは151件であった。

## (2) 暫定的減少要因別の事業所分類

続いて減少要因を特定するための前段階として、減少の要因別に回答事業所を表-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排水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、それぞれ表-4の①②③に分類した。なお濃度については排水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排水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、それぞれ表-4の④⑤⑥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た事業所はなかった。

さらに追加調査によって、期間中に操業を停止、または事業規模を縮小していたことが判明した事業所については表-4の⑦に分類した。なお事業規模を縮小したと判明した事業所のうち、期間中に負荷量削減対策を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216件のうち65件に関しては、①から⑥のいずれにも該当せず、表-4の「⑦不明」に分類せざるを得なかった。濃度や排水量削減を実施していても、それにともない排水データの濃度や排水量が減少していなかった事業所や、排水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65件に含まれる。

排水データは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排水データの整合が取れていない回答事業所が多かった原因の一つとして考えられる。しかし、減少要因を特定できる他の明確な根拠がなかったため、上記の判定ルールを厳格に適用した。

表-4 暫定的減少要因別の事業所分類ルールと分類別事業所数・汚濁負荷減少量

| 暫定的減少要因分類  | 排水データ(95-00)     |    | 358 アンケート(95-00) |      |      | 事業所数 | 汚濁負荷減少量(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   | 30   | 372.4( 8.5)      | 310.8( 6.9)  | 33.8( 3.2)  | 3.0(3.0)   |
| ②排水量削減対策   | 減少               | —  | 無し               | 有り   | 無し   | 15   | 172.9( 3.9)      | 158.4( 3.5)  | 45.8( 4.4)  | 4.6(3.5)   |
| ③下水道接続     | 減少               | —  | 無し               | 無し   | 有り   | 16   | 116.6( 2.7)      | 162.4( 3.6)  | 28.3( 2.7)  | 3.0(2.3)   |
| ④濃度・排水対策   | 減少               | 減少 | 有り               | 有り   | 無し   | 14   | 265.0( 6.0)      | 376.9( 8.4)  | 84.9( 8.2)  | 7.4(5.7)   |
| ⑤排水対策・下水接続 | 減少               | —  | 無し               | 有り   | 有り   | 4    | 126.1( 2.9)      | 162( 0.4)    | 8.1( 0.8)   | 3.4(2.6)   |
| ⑥操業停止・規模縮小 | 追加調査で特定          |    |                  |      |      | 72   | 1345.9(30.7)     | 1486.7(33.2) | 234.2(22.5) | 30.1(23.3) |
| ⑦不明        | 上記①～⑥のいずれにも該当しない |    |                  |      |      | 207  | 1985.2(45.3)     | 1968.2(43.9) | 605.9(58.2) | 77.1(59.6) |
| 合計         |                  |    |                  |      |      | 358  | 4384.1           | 4479.5       | 1040.9      | 129.4      |

また、減少要因の情報が一切得られなかった 142 件もこの「⑦不明」に分類した。

以上の結果、最終的に 151 件の事業所の減少要因を特定することができた。期間中汚濁負荷減少量に対する判明率としては、100%から表-4⑦不明の値を減じた、CODで 54.7%、BODが 56.1%、T-Nが 41.8%、T-Pが 40.4%である。

また汚濁物質濃度削減対策としては「排水処理施設の変更または新設」を実施した事業所が最も多く、対策を期間中に実施していた事業所全体の約 38%、排水量削減対策としては「日常的な節水努力」が最も多く約 33%、下水道への接続形態としては「事業系排水と生活排水ともに接続」が最も多く約 35%であった。

### (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後段階として、前述の減少要因 a) から d) までの期間中汚濁負荷減少量と寄与率を求めていく。そのためにまず以下の 2 つの作業を行う。

- 1) 式(6)(7)を用いて表-4①から⑦の暫定的減少要因分類毎に、負荷減少量を原因(濃度と排水量)別に按分する。
- 2) 上記で求めた表-4④⑤の原因別負荷減少量をさらに減少要因別に按分する。

濃度減少寄与率

$$\frac{\ln(C_{00}/C_{95})}{\ln(C_{00}/C_{95}) + \ln(Q_{00}/Q_{95})} \quad (6)$$

排水量減少寄与率

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

作業の第 1 ステップとして、表-4①から⑦の暫定的減少要因分類毎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、下水道接続のいずれか 1 つの削減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として見た場合には、

平均汚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ると、負荷減少量を濃度ベース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式(6)(7)である。原因別寄与率を負荷減少量に乘じたものが原因別負荷減少量となる。下記の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が求められる。

続いて作業の第 2 ステップとしては、上記で求めた表-4④⑤の原因別負荷減少量をさらに減少要因別に按分する。

表-4④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(6)(7)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 年の排水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 年から 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ステップ 1 で求めた原因別負荷減少量に乘じて、減少要因別かつ原因別の負荷減少量を求めた。

また表-4⑤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、358 アンケートで回答してもらっ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、同寄与率をステップ 1 で求めた原因別負荷減少量に乘じることで、減少要因別かつ原因別の負荷減少量を求めた。

### (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表-5 である。表には、減少要因・原因別の負荷減少量を、排水デー

表-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(対排水データ)(%) |       |       |       |      | 寄与率(対 358 アンケート)(%) |      |      |      |       |
|-----------------|--------|-------------|------|------|-------|----------------|-------|-------|-------|------|---------------------|------|------|------|-------|
|                 |        | COD         | BOD  | T-N  | T-P   | COD            | BOD   | T-N   | T-P   | 平均   | COD                 | BOD  | T-N  | T-P  | 平均    |
| a)濃度削減対策        | 濃度ベース  | 499         | 480  | 60   | 6.3   | 10.7           | 11.0  | 5.2   | 5.1   | 8.0  | 11.4                | 10.7 | 5.8  | 4.9  | 8.2   |
|                 | 排水量ベース | 23          | 44   | 4    | 1.9   | 0.5            | 1.0   | 0.3   | 1.5   | 0.8  | 0.5                 | 1    | 0.4  | 1.5  | 0.9   |
| b)排水量削減<br>対策   | 濃度ベース  | 221         | 238  | 54   | 5.3   | 4.7            | 5.5   | 4.7   | 4.3   | 4.8  | 5                   | 5.3  | 5.2  | 4.1  | 4.9   |
|                 | 排水量ベース | 106         | 89   | 49   | 3.4   | 2.3            | 2.0   | 4.2   | 2.8   | 2.8  | 2.4                 | 2    | 4.7  | 2.6  | 2.9   |
| c)下水道接続         | 濃度ベース  | 90          | 91   | 0    | 2.7   | 1.9            | 2.1   | 0.0   | 2.2   | 1.6  | 2                   | 2    | 0    | 2.1  | 1.5   |
|                 | 排水量ベース | 115         | 82   | 34   | 2.6   | 2.4            | 1.9   | 3.0   | 2.1   | 2.4  | 2.6                 | 1.8  | 3.3  | 2    | 2.4   |
| d)操業停止・<br>規模縮小 | 濃度ベース  | 550         | 739  | 39   | 10.5  | 11.7           | 17.0  | 3.3   | 8.6   | 10.2 | 12.5                | 16.5 | 3.7  | 8.1  | 10.2  |
|                 | 排水量ベース | 796         | 748  | 196  | 19.6  | 17.0           | 17.2  | 16.9  | 16.0  | 16.8 | 18.2                | 16.7 | 18.8 | 15.1 | 17.2  |
| e)不明            | 濃度ベース  | 1714        | 1794 | 522  | 68.7  | 36.6           | 41.2  | 45.2  | 55.9  | 44.7 | 39.1                | 40   | 50.2 | 53.1 | 45.6  |
|                 | 排水量ベース | 271         | 175  | 84   | 8.4   | 5.8            | 4.0   | 7.3   | 6.8   | 6.0  | 6.2                 | 3.9  | 8    | 6.5  | 6.2   |
| 358 アンケート       |        | 4384        | 4480 | 1041 | 129.4 | 93.6           | 102.8 | 90.2  | 105.4 | 98.0 | 100                 | 100  | 100  | 100  | 100.0 |
| 排水データ           |        | 4686        | 4358 | 1154 | 122.8 | 100.0          | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100  |                     |      |      |      |       |

タと 358 アンケート対象事業者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 年から 00 年にかけての滋賀県公共用水域への工業系汚濁負荷量の減少要因(寄与率)は、濃度削減対策が約 9%、排水量削減対策が約 8%、下水道接続が約 4%、操業停止または事業規模縮小が約 27%、不明が約 51% という結果になった。

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、琵琶湖への工業系汚濁負荷量の産業連関表生産額当たりの流入原単位(186 部門)を 1995 年と 2000 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、流入原単位が平均で約 50%減少していることが明らかとなった。

また、同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による平均寄与率が約 27%、濃度削減対策が 9%、排水量削減対策が 8%、下水道接続が 4% であったことが明らかになった。

ただし、減少要因が不明な負荷減少量が 50%を超えており、上記の寄与率には不確実性が残っている。358 社に対する追加調査が必要であろう。

以上のような課題はあるものの、工業系汚濁負荷量の流入原単位を算定し、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。

今後の展望としては、本研究で算定した原単位が工業系かつ公共用水域に排出されている負荷量に限定されていた問題を解消するために、オフィス系を含め、下水道接続によって現在、生活系に分類されている産業系負荷量を産業系に割戻し、産業活動の影響を正確に把握できる汚濁負荷量流入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) 杉浦正明, 井手慎司: 水質汚濁負荷原単位の算出と比較に関する研究—滋賀県を対象として—, 第 32 回環境システム研究論文発表会講演集, 407-411, 2004.
- 2) 滋賀県県民企画部統計課: 平成 7 年滋賀県産業連関表, 2000.
- 3) 平成 7 年産業連関表部門分類表—各種コンバータ, 通産省産業大臣官房調査統計解析課, 1999.
- 4) (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).
- 5) 滋賀産業支援プラザ: 滋賀県企業要覧(2003).
- 6) Herendeen, R.A.: Ecological Numeracy--Quantitative Analysis of Environmental Issues--, pp.28-46, John Wiley & Sons Inc., 1998.

## CALCULATION OF LOAD FACTORS FOR WATER POLLUTANTS AND IDENTIFICATION OF REDUCTION FACTORS FOR POLLUTANT LOADING --Pollutant Loading from Industrial Effluents in Shiga Prefecture--

Takayuki ISHIMOTO and Shinji IDE

In this study, load factors for water pollutants from 186 industrial sectors in Shiga were determined with its industrial effluent data and interindustry table in 1995 and 2000. As a result, it was revealed that pollutant loading to Lake Biwa from industrial sectors declined drastically during the period and the load factors halved on the average. According to a questionnaire survey to establishments which pollutant loading decreased during the period, it became also clear that loading reduction could be attributed to the establishments' closedown or contraction, concentration reduction measures, discharge reduction measures, and/or connection to sewerage system, the contribution ratios of which were 27%, 9%, 8%, and 4%, respectively.