

大腸菌群の汚染負荷解析

STUDY ON POLLUTION LOAD OF COLIFORM GROUP BACTERIA

中 西 弘*・浮 田 正 夫**・石 川 宗 孝***

By Hiroshi NAKANISHI, Masao UKITA and Munetaka ISHIKAWA

Recently water pollution due to Coli-form group bacteria is strikingly high. However, its pollution route or mechanism in water bodies is not clear.

This paper presents a study on the pollution load of Coli-form group bacteria. A case study was performed on the catchment area of the Koto River.

The pollution units, expressed by the number of Coli-form group bacteria per capita (or head) per day, were 1.5×10^{10} in night soil, 1.0×10^{10} in gray sewage (domestic sewage except night soil), 5×10^{11} from cattle, 1.0×10^{11} from pigs.

The discharge rate in each of treatment plant ranged from 10^{-2} to 10^{-3} . Runoff rate to the river and via the lake Ono was 0.02 and 0.08 respectively.

1. まえがき

大腸菌群数は、腸管性病原菌汚染の可能性を示唆する疫学的なマクロな指標として公衆衛生の立場から重要視されてきた。たとえば、飲料用水基準や水質環境基準の重要な項目に採用されている。ところで、大腸菌群数の環境基準の適合率は悪く、環境庁の調査では¹⁾昭和56年度河川AA, A, B類型において適合率は20.4%，湖沼AA, A類型で78.5%，海域A類型で91.5%であり、特に河川において悪い。その原因として生活排水や家畜汚水の処理の不備が指摘されているが、その汚染機構や経路に関する工学的な解析はほとんどなされていない。

そこで大腸菌群汚染の発生源から排出、公共水域への流達の過程を、いわゆる原単位法の手法で定量化することを試みた。本論文はその定量化手法に関する報告である。

2. 大腸菌群数の原単位作成上の問題点

原単位法はBOD, COD, SS, N, Pなどの汚濁負荷

量と汚濁機構の解析に有力な手段を提供しているが、この方法が大腸菌群汚染の機構解析になじむものかどうか、まず十分に検討しておく必要がある。これらの問題点と本論文における対応を以下にまとめる。

1) 大腸菌群数の腸管性病原菌汚染の指標としての妥当性 大腸菌群にはふん便汚染に関係するとみられる *Escherichia coli* グループとそれに関係ない *Citrobacter freundii* グループや *Klebsiella aerogenes* グループなどがある²⁾。ふん便性という点では、現在のところ IMVIC 試験において + + + + および 44.5°C 増殖するものとされている。わが国では BGLB 培地直接 MPN 法、デソキシコーレート平板法、LB 培地-BGLB 培地法の 3 種類の測定法が行われているが、当然測定方法によって計数される菌の組成は異なる。本論文では分類学上の議論は残るが一応、環境基準の測定に用いられている BGLB/36°C による MPN 法で得られた値を大腸菌群数³⁾、BGLB/44.5°C による MPN 法で得られた値をふん便性大腸菌群数⁴⁾と割り切り、原単位は行政的にデータの豊富な大腸菌群数についてまとめてみることとした。

2) 指数関数的に増減する細菌数を原単位としてまとめることの意義 細菌数の増減は指数関数的であるので、原単位のまとめは幾何平均値により、またその値は指数のオーダーとして評価することによって、BOD や

* 正会員 工博 山口大学教授 工学部 (〒755 宇部市常盤台2557)

** 正会員 工博 山口大学講師 工学部 (同上)

*** 正会員 工修 山口大学助手 工学部 (同上)

N, P その他の原単位と同様な取扱いができると考えられる。

なお、原単位は年平均値としてのまとめであり、発生源や排出率についての季節変動は考慮していない。

3) 公共水域に排出された後の挙動に関する評価の方
法 基本的には細菌数の変化は式(1)で示され、公共
水域においては K 値は通常負の値で示される。

N : 細菌数, K : 細菌数の変化速度定数

公共水域の同一地点における大腸菌群数の年間を通じての変動幅は、最小値に対する最大値の倍率で表わして、10倍程度であるが 10^2 倍におよぶことも珍しくない。このように変動の大きい大腸菌群数の流達過程における変化速度定数 K の値も水温、水質（有機物濃度等）などの変化により当然季節変化が考えられる。

本稿では、水域における大腸菌群数の変化をとりあえず流達率の形でまとめることとし、流達率の値も年平均値として対象地点間の流達負荷量の比率や排出負荷量との比率により求めた、流達率と K の関係、すなわち流達率の関数化や季節変化の評価は今後の課題である。

以上、大腸菌群数の汚染負荷量の算定は、マクロな年平均値を対象とする工学的手法であり、細菌数の変化の状況からみて指数のオーダーで評価するが、その結果は汚染原因の究明とその対策を立てるための有力な手段を提供するものと考える。

3. 大腸菌群数汚染負荷の算定手順

図-1は、大腸菌群数汚染負荷量の算定手順を示したものであるが、点源発生源として、し尿、生活雑排水、家畜（牛、豚）ふん尿、面的発生源として自然性負荷がある。工場、事業所における人の生活に關係する部分は

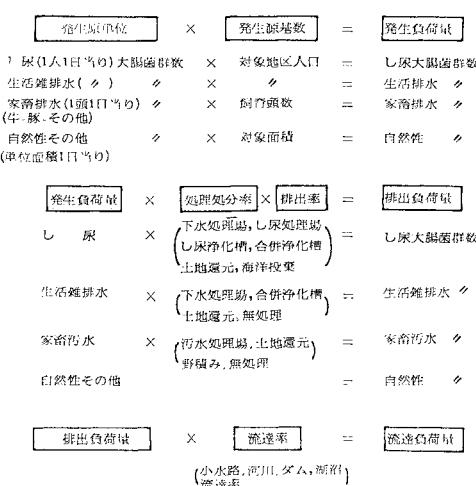


図-1 大腸菌群数汚染負荷解析手順

当然発生源の対象となるが、工場排水は現在対象に入れていない。今後調査が進み、無視し得ない種々の発生源があれば、順次取り入れていく予定である。

発生源単位は、それぞれ1人1日、1頭1日当たりなどの発生大腸菌群数の年平均値としてまとめている。また排出率は、下水処理場、し尿処理場、し尿浄化槽などの処理施設における排出率を示したものであり、 $(1 - \text{除去率})$ の値をもつ。

4. 原単位、排出率の作成

大腸菌群数の測定は、生活系の各種処理施設の機能調査、公共水域の環境基準調査、各市水道局の水質検査などで広く行われており、資料も多い。しかしながら、それらは単なる水質検査値としての記述が多く、原単位値や排水率としてまとめるとなると、流量や処理人口、家畜飼育頭数などの資料が欠落している場合が多く、容易ではない。原単位や排出率の作成にあたって、可能な限り文献の基礎資料を利用し、欠落する部分や裏付けとなる情報は実測により補った。

(1) 發生原單位

a) し尿原単位

し尿処理施設構造指針⁵⁾によると、くみ取りし尿中に含まれる大腸菌群数は $10^6 \sim 10^7$ 個/ 10^{-6} m^3 である。また大森の調査⁶⁾において、新鮮し尿 1.3×10^7 個/ 10^{-6} m^3 、くみ取りし尿 4.9×10^6 個/ 10^{-6} m^3 の値が示されている。われわれの実測した結果では、くみ取りし尿で 7.9×10^6 個/ 10^{-6} m^3 という値が得られた。一方、し尿の 1 人 1 日排出量は $(1.2 \sim 1.4) \times 10^{-3} \text{ m}^3$ となっている⁷⁾。したがって、くみ取りし尿の原単位として 1.0×10^{10} 個/人・日の原単位が得られる。

$$(4.9 \times 10^6 \sim 1.3 \times 10^7) \times (1.2 \sim 1.4) \times 10^3 = 5.9 \times 10^9 \sim 1.8 \times 10^{10} \text{ 個/人・日 (平均値)}$$

また新鮮人ぶん中にはほぼ 10^8 個/g の大腸菌群が含まれ、これに排出量 100~200 g/人・日を乗じれば 1.0~ 2.0×10^{10} 個/人・日となる。

くみ取りし尿の場合は便槽における貯留の過程まで大腸菌群の減少があることを考慮して、結局し尿の大腸菌群数発生原単位を 1.5×10^{10} 個/人・日とした。

b) 生活雑排水、その他の原単位

生活雑排水単独の大腸菌群数測定報告は意外に少ない。山口県下の生活雑排水共同処理施設の測定結果では⁸⁾、12検体で $2.4 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^5$ 個/ 10^{-6} m^3 となっている。また、われわれの調査結果は表-1であり、 $1.6 \times 10^3 \sim 7.9 \times 10^4$ 個/ 10^{-6} m^3 の値が得られた。これらの結果を整理すると、生活雑排水の大腸菌群数として 2.8×10^4 個/ 10^{-6} m^3 の値が得られた。一方、生活雑排水の水量については、生活雑排水対策調査⁹⁾、未規制汚漏源

表一 生活雑排水の大腸菌群数調査結果

| 調査点 | 調査日時 | 大腸菌群数 (個/ml) | ふん便性大腸菌 群数(個/ml) |
|----------|--------------------|----------------------|----------------------|
| 宇部市萩原排水路 | 1982. 11. 17 11:50 | 5.4×10^4 | |
| | 11. 27 11:00 | 7.9×10^4 | |
| | 12. 1 11:00 | 2.4×10^4 | |
| | 1983. 2. 7 13:30 | 7.9×10^4 | |
| | 2. 16 14:00 | 3.3×10^4 | 4.9×10^4 |
| | 7. 7 11:00 | 1.6×10^4 以上 | 1.6×10^4 以上 |
| | 11:10 | 1.6×10^4 以上 | 1.6×10^4 以上 |
| | 13:40 | 5.4×10^4 | 2.4×10^4 |
| | 13:50 | 2.4×10^4 | 2.8×10^4 |
| | | | |
| A 氏宅 | 1983. 7. 7 10:50 | 1.6×10^4 以上 | 1.1×10 |
| | 7. 7 12:00 | 1.6×10^4 | |
| | 7. 11 13:30 | 2.2×10^4 | 3.5×10 |
| B 氏宅 | 1982. 11. 11 15:00 | 7.4×10^4 | 1.4×10^3 |
| | 1983. 7. 7 11:40 | 1.6×10^4 | 1.6×10^3 以上 |
| | 7. 21 14:00 | 5.4×10^4 | 1.7×10^3 |

対策調査¹⁰⁾など種々の調査事例があるが、それらを要約すると $(150 \sim 200) \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ の値が得られる。したがって家庭内の生活排水に由来する大腸菌群数原単位として 0.5×10^{10} 個/人・日の値が得られる。

$$2.8 \times 10^4 \times (150 \sim 200) \times 10^3 = (0.42 \sim 0.56$$

$$\times 10^{10}) \text{ 個}/\text{人} \cdot \text{日} \approx 0.5 \times 10^{10} \text{ 個}/\text{人} \cdot \text{日}$$

この値は純家庭内の生活雑排水原単位であるが、水道水の用途においても明らかなように、家庭外の官公署、病院、学校、事業所などからの排水があり、これらの排水に含まれるし尿由来以外の大腸菌群数負荷を見込んで生活雑排水およびその他の大腸菌群発生源単位を 1.0×10^{10} 個/人・日としておく。

公共下水道統計¹¹⁾から計算した全国 250 検体の流入下水の大腸菌群数の幾何平均値は 1.05×10^5 個/ 10^{-6} m^3 となった。1 人 1 日平均流入下水量 $250 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{人} \cdot \text{日}$ ¹²⁾ として、都市下水の大腸菌群数原単位を求めるとき 2.5×10^{10} 個/人・日となる。これは精度の高い原単位であるが、先に求めたし尿の大腸菌群原単位 1.5×10^{10} 個/人・日と、生活雑排水およびその他の原単位 1.0×10^{10} 個/人・日との和も 2.5×10^{10} 個/人・日となり、整合性がとれている。

c) 家畜原単位

家畜では、水域に排出される主要なものとして、豚と牛を対象とする。

豚のふん尿の排出量として、大野らの報告がある¹³⁾。残飯飼料、ちゅう芥飼料、配合飼料などの飼料の種類や成豚、幼豚によって排出量が異なるが、平均値として、配合飼料 5.5 kg/頭・日 (尿量 $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{頭} \cdot \text{日}$)、ちゅう芥飼料 8.0 kg/頭・日 (尿量 $7.2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{頭} \cdot \text{日}$)、残飯飼料 10.0 kg/頭・日 (尿量 $9.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{頭} \cdot \text{日}$) が与えられている。

また流総指針¹⁴⁾ではふん尿量として $13.5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{頭} \cdot \text{日}$ が与えられている。一方大腸菌群測定結果¹⁵⁾では

表二 豚舎汚水の大腸菌群数調査

| | | 大腸菌群数 (個/ml) | ふん便性大腸菌 群数(個/ml) |
|--------------------------|--------------|-------------------|---------------------|
| 宇部市開 豚舎汚水 (850 頭) | 1982. 11. 17 | 2.2×10^6 | 1.6×10^3 |
| | 11. 27 | 7.9×10^6 | 1.6×10^3 |
| | 12. 1 | 5.4×10^6 | |
| | 1983. 2. 7 | 3.5×10^6 | |
| 宇部市高領 豚舎汚水 (600 頭) | 2. 16 | 3.3×10^6 | 4.9×10^4 |
| | | | |
| | 幾何平均 n=8 | | 4.0×10^6 |
| | | | |

$10^7 \sim 10^9$ 個/ 10^{-6} m^3 の値が示されている。また小林らの報告¹⁵⁾では、豚の新鮮生ふん 15 kg を $30 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ の水に懸濁させた場合の大腸菌群数は 1.4×10^9 個/ 10^{-6} m^3 であった。これは成豚 2 頭分に相当する。これらの値から豚のふん尿原単位を求めるとき、

$$(3 \sim 15) \times (10^7 \sim 10^9) \times 10^3 = 3 \times 10^{10} \sim$$

$$15 \times 10^{12} \text{ 個}/\text{頭} \cdot \text{日}$$

となる。平均値として 6.7×10^{11} 個/頭・日が求まる。

また、豚舎汚水として大野らの調査¹³⁾によれば、汚水量 $30 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{頭} \cdot \text{日}$ 、大腸菌群数 $10^5 \sim 10^6$ 個/ 10^{-6} m^3 が示されている。われわれの調査結果は表二であり、豚舎汚水として平均 4.0×10^6 個/ 10^{-6} m^3 の値が得られた。したがって豚のふん尿原単位として次の値が求められる。

$$(10^5 \sim 4.0 \times 10^6) \times 30 \times 10^3 = 3 \times 10^9 \sim$$

$$12 \times 10^{10} \text{ 個}/\text{頭} \cdot \text{日}$$

平均値として 1.9×10^{10} 個/頭・日が求まる。

また流総指針からみれば、し尿と豚のふん尿の原単位は BOD で 11 倍、TN で 4.4 倍程度であるが、大腸菌群についても先の 6.7×10^{11} 個と 1.9×10^{10} 個の平均値はし尿の原単位の 10 倍値にはほぼ対応する。したがって豚の大腸菌群数発生原単位としてこの平均値に近い 1.0×10^{11} 個/頭・日を採用した。

牛のふん尿については、同じく大野らの資料¹³⁾により、排出量として豚の約 8 倍が見込まれること、また牛舎汚水として排水量 $40 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{頭} \cdot \text{日}$ 、大腸菌群濃度 $10^5 \sim 10^9$ / 10^{-6} m^3 より、

$$(10^5 \sim 10^9) \times 40 \times 10^3 = 4 \times (10^9 \sim 10^{13}) \text{ 個}/\text{頭} \cdot \text{日}$$

$$\text{平均 } 4 \times 10^{11} \text{ 個}/\text{頭} \cdot \text{日}$$

が得られること、さらに流総指針¹⁴⁾からみて、牛の原単位は豚に対して BOD で 3.2 倍、COD で 4.1 倍、TN で 9.5 倍、TP で 2.2 倍であることなどを勘案して、豚の 5 倍の値、すなわち、牛のふん尿原単位は 5×10^{11} 個/頭・日とした。

d) 自然性負荷原単位

宇部市近郊の人為的な汚染がないと見込まれる山林、原野からの流出水 4 か所を採水して大腸菌群数を測定し

た結果、すべてN.D.であった。したがって今回は、自然負荷は対象としなかった。

(2) 排出率

各処理施設における排出率は(1-除去率)で表示されるが、大腸菌群数の排出率を主として文献に示される各処理施設の実測値を整理して求めた。また不足する情報は実測により補った。

a) 下水処理場

下水処理施設の排出率は、昭和54年度下水道統計¹¹⁾より全国の下水処理場の流入および放流水大腸菌群数250例につき、それぞれ対数平均値を求めた。これより、下水処理場の排出率は0.004となった。

$$\text{下水処理場排出率} = 444 / (1.05 \times 10^5) = 0.004$$

b) 合併浄化槽

合併浄化槽の排出率は、表-3に示すように宇都市萩原処理場の流入および放流水の測定結果より求め、排出率を0.015とした。

c) し尿単独浄化槽

し尿浄化槽に関しては、都市廃棄物処理対策研究会の資料^{16), 17)}よりまとめた処理方式別の流出水濃度に対して、流入水は浄化槽流入水の大腸菌群数濃度を 3.8×10^5 個/ 10^{-6} m^3 (し尿大腸菌群数原単位 1.5×10^{10} 個/人・日、水洗便所用水 $40 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ /人・日として計算)として排出率を表-4のように求めた。すなわち、平均値として排出率0.037が得られた。

d) し尿処理場

し尿処理施設については十分な資料がなかったので、放流水は大腸菌群数の基準値 3000 個/ 10^{-6} m^3 以下の 2000 個/ 10^{-6} m^3 とし、くみ取りし尿の大腸菌群数は 10^6

表-3 合併浄化槽の大腸菌群数調査(宇都市萩原処理場、活性汚泥法)

| 調査時期 | 大腸菌群数(個/ml) | | 排出率 |
|--------------|-------------------|-------------------|--------|
| | 流入水 | 流出水 | |
| 1982. 11. 17 | 5.4×10^4 | 2.4×10^2 | 0.0044 |
| 11. 27 | 7.9×10^4 | 2.4×10^2 | 0.0304 |
| 12. 1 | 7.9×10^3 | 4.9×10^1 | 0.0062 |
| 1983. 7. 7 | 1.6×10^4 | 3.5×10^2 | 0.0219 |
| 7. 11 | 5.4×10^4 | 7.0×10^2 | 0.0130 |
| 平均 | | | 0.0152 |

表-4 し尿浄化槽の大腸菌群数排出率^{18), 17)}

| 浄化槽の型式 | 基数 | 処理水の大腸菌群数(個/ml) | 排出率* |
|---------|-------|-------------------|-------|
| 廃液タンク方式 | 基準型 | 1.4×10^4 | 0.056 |
| | 特殊型 | 1.8×10^4 | 0.072 |
| 長時間暴気方式 | 全暴気型 | 3.5×10^3 | 0.014 |
| | 分離暴気型 | 8.9×10^2 | 0.004 |
| 平均 | | | 0.037 |

* 流入水の大腸菌群数を 2.5×10^5 個/mlとした。

表-5 大腸菌群数の発生負荷原単位および排出率

| 発生源 | 発生負荷原単位 | 処理処分方式 | 排出率 |
|------|----------------------------|------------|-------|
| 生活排水 | 1.5×10^{10} 個/人・日 | 下水処理 | 0.004 |
| | | 合併浄化槽 | 0.015 |
| | | 単独浄化槽(し尿) | 0.037 |
| 雑排水 | 1.0×10^{10} 個/人・日 | し尿処理施設(し尿) | 0.013 |
| | | 自家処分(し尿) | 0.10 |
| その他 | | 水域投棄(し尿) | 1.00 |
| | | 無処理(雑排水) | 1.00 |
| 家畜汚水 | 5.0×10^{11} 個/頭・日 | 浄化処理 | 0.01 |
| | | 農地還元 | 0.10 |
| 豚 | 1.0×10^{11} 個/頭・日 | 無処理 | 1.00 |
| | | 水域投棄 | 1.00 |

$\sim 10^7$ 個/ 10^{-6} m^3 の平均値 3.16×10^6 個/ 10^{-6} m^3 、流入水はその20倍希釈として 1.58×10^5 個/ 10^{-6} m^3 となる。したがって排出率は0.013とした。

$$2000 / 1.58 \times 10^5 = 0.0126 \approx 0.013$$

e) その他

し尿の自家処分は、上地処分では排出率を0.1とした。また、海洋投棄などの水中投棄は1.0とした。また、生活雑排水の未処理分は排出率を1.0として評価した。

f) 家畜汚水

家畜ふん尿は、浄化処理、農地還元、野積焼却、無処理などの処理、処分形態があるが、浄化処理、農地還元、無処理に分けた。

浄化処理では、宇都市高領の養豚場の実態調査より排出率0.01を求めた。また、農地還元では排出率を0.1とした。なお、無処理は1.0である。これらの排出率は牛、豚共通としている。

以上、検討してきた大腸菌群数の原単位および排出率をまとめて表-5に示す。

5. 大腸菌群数とふん便性大腸菌群数

大腸菌群数に対するふん便性大腸菌群数の割合に関しては種々の報告^{21), 41), 8)}がみられる。谷本ら⁴¹⁾は岡山県下の河川水で50検体についてその割合を5.7~10.7%と報告している。また、ほとんどの河川水で5~20%の範囲にあり、平均10%程度としている。脇坂は山口県厚東川水系32地点96検体について大腸菌群数およびふん便性大腸菌群数検査を行ったが¹⁸⁾、その結果を整理するとその割合は水系群ごとで5.9~14.1%の範囲、平均10.4%となっている。下水処理場流入水について4~38%、平均22.7%、処理水について5~39%、平均19.3%の値がある¹⁹⁾。

われわれの調査では、し尿で44.5%、豚糞汚水で7.2~12.3%、都市河川水で11.8~39.4%などの値を得ている。ふん便性大腸菌群の比率はし尿や家畜ふん尿などの発生源において大きくなる傾向がみられる。このことはMishraらの報告²⁰⁾からもうかがえる。すなわち、

IMVIC 試験法において分離された大腸菌群を高温培養(44.5°C)し、陽性を示す割合は人のふん便で 81.9%，家畜ふん便で 76.4%，下水で 57%，土壤で 55.7% であり、ふん便由来でその割合が高くなっている。しかし、非ふん便性の土壤においても高い割合を示していることは注目される。

6. 大腸菌群数の減少速度

一般に細菌数の増減は式(1)で示されるが、特別な場合を除いて、公共水域のように大腸菌群の増殖環境に適さないところに排出された大腸菌群数は減少の傾向にある。表-6 は、採水瓶中の大腸菌群数(E.Coli)の経時変化を調べたものであるが²¹⁾、一般細菌数は増加しているが、大腸菌群数は増加していない。細菌数の減少に対する Chick の法則²²⁾は式(2)で示されている。

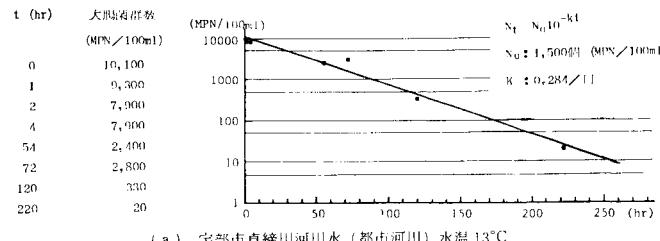
$$N_t = N_0 e^{-kt} \quad \dots \dots \dots (2)$$

N_0 , N_t はそれぞれ時間 $t=0$, $t=t$ における細菌数

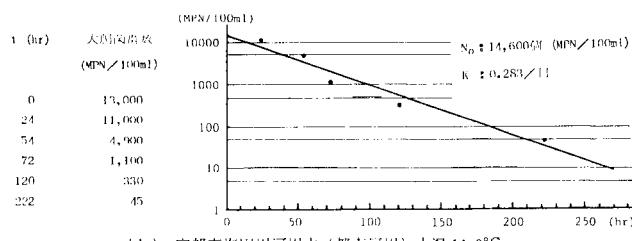
K : 細菌数の減少速度定数

K は、活性化エネルギー E 、気体定数 R 、絶対温度

T の関数として式(3)で表現されているが、大腸菌



(a) 宇部市真緑川河川水 (都市河川) 水温 13°C



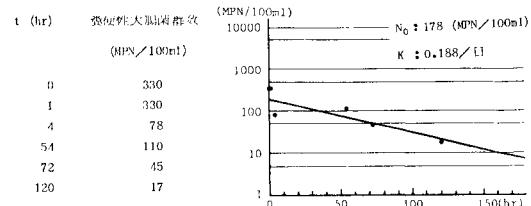
(b) 宇部市塩田川河川水 (都市河川) 水温 14.9°C

図-2 大腸菌群数の減少速度

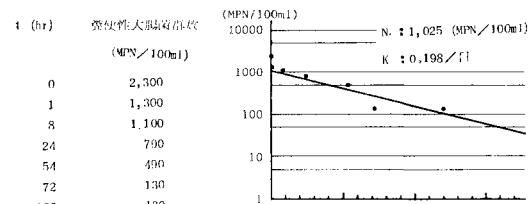
表-6 河川水中の大腸菌群数および一般細菌数の変化 (100 ml 瓶、暗所に静置)

| | | 貯藏時間(h) | 0 | 2 | 5 | 10 | 24 | 48 | 72 |
|-------|------|---------|-----|---------|----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 大腸菌群数 | 35°C | 倍率範囲 | 1.0 | 0.6~1.0 | 0.6~1.0 | 0.5~1.4 | 0.0~2.0 | 0.0~5.0 | 0.0~10.0 |
| | 5°C | 倍率範囲 | 1.0 | 0.9~1.2 | 0.8~1.2 | 0.6~0.8 | 1.0~1.3 | 0.6~1.6 | 0.3~1.6 |
| | 5列 | 平均倍率 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.7 | 1.2 | 1.0 | 1.0 |
| | 10列 | 倍率範囲 | 1.0 | 1.0~1.5 | 1.5~15.4 | 27.0~47.0 | 14.7~70.1 | 6.7~27.1 | 5.7~22.7 |
| 一般細菌数 | 35°C | 倍率範囲 | 1.0 | 1.0~1.5 | 1.5~15.4 | 27.0~47.0 | 14.7~70.1 | 6.7~27.1 | 5.7~22.7 |
| | 5°C | 倍率範囲 | 1.0 | 0.8~1.2 | 0.5~2.5 | — | 0.4~1.1 | 1.0~1.6 | 6.8~9.2 |
| | 5列 | 平均倍率 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | — | 0.8 | 1.3 | 8.0 |
| | 10列 | 倍率範囲 | 1.0 | 1.0 | 1.3 | — | — | — | — |

細菌数は初期値を 1.0 とした倍率(相対値)で表わす。



(a) 宇部市真緑川河川水 (都市河川) 水温 13°C



(b) 宇部市塩田川河川水 (都市河川) 水温 14.9°C

図-3 粪便性大腸菌群数の減少速度

群数に関して Klock²³⁾は表-7 のようにまとめている。

$$\ln K = -E/RT + A \dots \dots \dots (3)$$

A は定数

われわれも、宇部市を流れる都市河川を対象にして大腸菌群数ならびに粪便性大腸菌群数の減少速度を求めた。実験は採取した河水を $10 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ のガラス瓶に入れ室内においてスターラーで緩速かくはんしながら、大腸菌群数および粪便性大腸菌群数の経時変化を調べた。

得られた結果を図-2, 図-3 に示すが、

表-7 大腸菌群数の減少速度定数 K ²³⁾

| 淨化過程 | K 値 (1/日)(10を底とする) |
|------------|----------------------|
| 沈降性 | |
| 散水ろ床 | 5~10 |
| 汚性汚泥法 | |
| 普通沈殿 | 平均 6 |
| 非沈降性 | |
| 嫌気性消化 | 0.6~1.5 |
| 廃水ラグーン | 0.2~0.6 |
| 汚染された河川、湖沼 | 0.4~1.5 |
| きれいな河川、湖沼 | 0.1~0.3 |

最小自乗法で求めた式(2)の減少速度定数Kの値は大腸菌群数で0.283/日, 0.284/日, ふん便性大腸菌群数で0.188/日, 0.198/日であり, ふん便性大腸菌群数の方がやや低い値を示している。

7. 厚東川流域における大腸菌群数汚染負荷解析

厚東川水系は、上流を秋吉台に発し、中流に宇部、小野田地域の水道、工業用水をまかぬ厚東川ダムを有し、宇部市の西南部から周防灘に注ぐ2級河川である。その流域は、面積405 km²、流量 $9.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$ ($11 \text{ m}^3/\text{s}$)、人口2.5万人の農村地帯である。大腸菌群数の環境基準適合率は昭和56年度河川A類型で58.3%, B類型で83.3%である。水道水源として重要な水系であり、事例研究として大腸菌汚染負荷の解析を行った。図-4は厚東川流域図であり、表-8は流域の発生源基数(フレーム値)である。

表-5に示した発生原単位、排出率と表-8のフレーム値より求めた大腸菌群数の発生負荷量、排出負荷量のまとめは表-9である。ここで流達負荷量はそれぞれ図-4に示す厚東川の流入点C、大田川の流入点D、および厚東川ダムからの流出点Eにおける実測値から求めた負荷量であり、表-10より求めたものである。総括排出率は、地域全体の発生負荷量と排出負荷量との比で

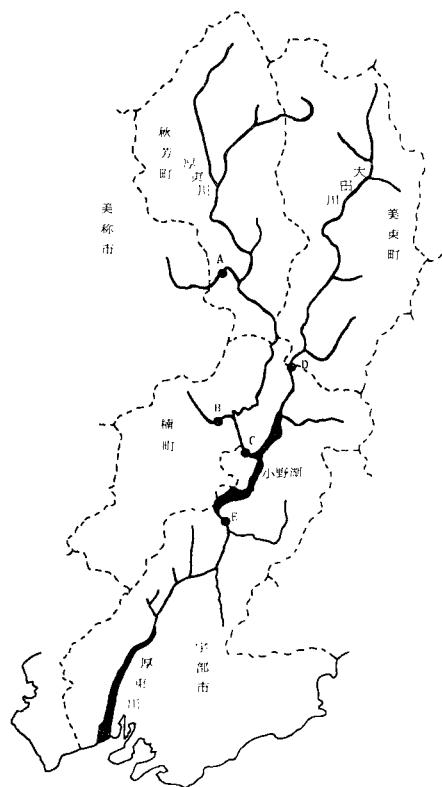


図-4 厚東川水系および観測地点

表-8 厚東川流域の発生源基数(フレーム値)

| 地域名 | 人口(人) | | | | | | 牛(頭) | | | | 豚(頭) | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-----|------|-------|-----|----|----|-----|
| | し尿処理 | | | 生活雑排水 | 計 | 淨化処理 | 農地還元 | 無処理 | 計 | 淨化処理 | 農地還元 | 無処理 | 計 | | |
| | 下水処理 | 合併浄化槽 | 単独浄化槽 | | | | | | | | | | | | |
| 美東町の大部分 | 0 | 90 | 305 | 1,698 | 4,661 | 6,664 | 6,754 | 30 | 950 | 360 | 1,340 | 102 | 55 | 0 | 157 |
| 楠町の一部 | 0 | 0 | 75 | 555 | 899 | 1,529 | 1,529 | 0 | 98 | 23 | 121 | 37 | 21 | 0 | 58 |
| 秋芳町 | 0 | 1,310 | 525 | 2,514 | 3,984 | 7,023 | 8,333 | 20 | 904 | 206 | 1,130 | 168 | 62 | 10 | 240 |
| 美祢市の一一部 | 0 | 0 | 0 | 148 | 223 | 371 | 371 | 8 | 75 | 15 | 98 | 18 | 18 | 0 | 36 |
| 宇部市小野の一部 | 0 | 0 | 124 | 1,977 | 371 | 2,472 | 2,472 | 20 | 183 | 41 | 244 | 27 | 12 | 5 | 44 |

表-9 厚東川流域の大腸菌群数汚染負荷量

| | 発生負荷量 (個/日) | 排出負荷量 (個/日) | 流達負荷量 (個/日) | 総括排出率* | 流達率** | 排出負荷量割合率(%) | | |
|------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------|-------------------|-------------|------|------|
| | | | | | | し尿 | 雑排水 | 家畜汚水 |
| 大田川流域 美東町の大部分 | 8.6×10^{14} | 3.0×10^{14} | 3.9×10^{12} | 0.353 | 0.013 | 2.5 | 22.1 | 75.4 |
| | 8.6×10^{14} | 3.0×10^{14} | (大田川流入点D) | 0.353 | | | | |
| 厚東川上流域 楠町の一部 | 9.6×10^{14} | 2.8×10^{14} | 4.4×10^{12} | 0.287 | 0.016 | 3.3 | 32.1 | 64.5 |
| | 1.0×10^{14} | 0.3×10^{14} | (厚東川流入点C) | 0.314 | | | | |
| 秋芳町 美祢市的一部分 | 8.0×10^{14} | 2.3×10^{14} | | 0.286 | | | | |
| | 0.6×10^{14} | 0.2×10^{14} | | 0.258 | | | | |
| 小野湖流域 美東町の大部分 | 20.1×10^{14} | 6.4×10^{14} | 7.0×10^{11} | 0.316 | 0.0011 | 2.7 | 28.5 | 68.8 |
| | 8.6×10^{14} | 3.0×10^{14} | (厚東川ダム流出) | 0.353 | | | | |
| 秋芳町 美祢市的一部分 | 8.0×10^{14} | 2.3×10^{14} | | 0.286 | (小野湖***) 0.083 | | | |
| | 0.6×10^{14} | 0.2×10^{14} | | 0.258 | | | | |
| 楠町の一部 宇部市小野地区 | 1.0×10^{14} | 0.3×10^{14} | | 0.314 | | | | |
| | 1.9×10^{14} | 0.6×10^{14} | | 0.298 | | | | |

* 総括排出率 = 排出負荷量 / 発生負荷量 ** 流達率 = 流達負荷量 / 排出負荷量

*** E点流達負荷量 / (C点流達負荷量 + D点流達負荷量)

表-10 厚東川水系の大腸菌群数流達負荷量

| | | 年平均流量 (m ³ /日) | 大腸菌群数 年平均値 (個/10 ⁻⁶ m ³) | 流達負荷量 (個/日) |
|-----|-------------|------------------------------|---|----------------------|
| 厚東川 | A地点 | 0.19×10 ³ | | |
| | B〃 | 0.18×10 ³ | | |
| | C〃 | 3.20×10 ³ | 12.3 | 3.94×10 ³ |
| 大田川 | D〃 | 4.31×10 ³ | 10.3 | 4.44×10 ³ |
| | 厚東川ダム流出点E地点 | 9.93×10 ³ | 0.7 | 6.95×10 ³ |

表-11 厚東川流域の発生源別大腸菌群数汚染負荷量

| 発生源 | 発生負荷量 (個/日) | 排出負荷量 (個/日) | 排出率 | 寄与率(%) | |
|------|-----------------------|----------------------|-------|--------|----------|
| | | | | 発生負荷 | 排出(流達)負荷 |
| 生活排水 | 4.87×10 ⁴ | 1.98×10 ⁴ | 0.407 | 24.2 | 31.2 |
| | 2.92×10 ⁴ | 0.17×10 ⁴ | 0.058 | 14.5 | 2.7 |
| | 1.95×10 ⁴ | 1.81×10 ⁴ | 0.928 | 9.7 | 28.5 |
| 家畜汚水 | 15.2×10 ⁴ | 4.37×10 ⁴ | 0.288 | 75.8 | 68.8 |
| | 14.66×10 ⁴ | 4.33×10 ⁴ | 0.295 | 73.1 | 68.2 |
| | 0.54×10 ⁴ | 0.04×10 ⁴ | 0.074 | 2.7 | 0.6 |
| 合計 | 20.07×10 ⁴ | 6.35×10 ⁴ | 0.316 | 100.0 | 100.0 |

あるが、0.26～0.35の値を示している。流達率は、排出負荷量と流達負荷量との比であるが、大腸菌群数の流達率は小さく、0.0016～0.016であり、10⁻²～10⁻³のオーダーの値を示している。表-11は、厚東川流域の発生源別大腸菌群数の排出率や寄与率を示したものであるが、生活雑排水の排出率が0.93と大きいこと、家畜汚水の寄与率が発生負荷で76%排出負荷で69%と大きいことがこの地域での特徴である。

8. むすび

(1) 大腸菌群数汚染負荷の算定は、環境基準達成率の悪い大腸菌群汚染に対して、その原因と対策を明らかにする手段として有力である。

(2) 指数関数的に変化する大腸菌群数に対して原単位、排出率、流達率という形でまとめた。なお、算定された負荷量の精度は指数のオーダーで評価するのが妥当であると考えるが、その精度を上げるためにさらに多くのデータの蓄積が必要である。

(3) 厚東川水系の事例研究にみられるごとく、大腸菌群数の流達率は10⁻²～10⁻³と小さく、減少速度定数も0.2～0.3/日は大きいので、公共水域に排出された後の減少が著しい。今後こうした環境水における大腸菌群やふん便性大腸菌群の挙動についての詳しい調査が必要である。

(4) 厚東川水系の事例研究では、水域に流達する大腸菌群汚染負荷の70%近くが家畜汚水にあることが明らかとなつたが、こうした各水域ごとの事例研究を積み重ねることによって、それぞれの水域の汚染源を明確にし、その発生、排出源対策を強化することが必要である。

なお、この研究には原単位、排出率、流達率の精度を上げるためにさらに多くのデータの蓄積が必要である。

本研究は、その定量化手法を示したものである。

本研究のまとめにあたり、多大の協力を得た藤原幸喜氏ならびに大腸菌群数の測定を担当した山本俊美、伊田真澄の諸氏に対し厚く感謝します。

本研究の概要は、第53回日本衛生学会総会（昭和58年4月）で発表した。

参考文献

- 環境庁：昭和56年公共用水域質測定結果について、昭和57年12月。
- 上野英世：大腸菌群の周辺、用水と焼水、Vol. 19, No. 5, pp. 555～567, 1977.
- 環境庁告示第59号、昭和46年12月。
- 谷本浩一ほか：河川水の大腸菌群検査方法と汚濁の指標性について、水質汚濁研究、Vol. 5, No. 4, pp. 213～223, 1982.
- 厚生省：し尿処理施設構造指針。
- 大森英昭：し尿系汚水の処理に関する研究、京都大学学位論文、昭和53年11月。
- 環境技術研究会：生活系排水処理ガイドブック、昭和56年8月。
- 山口県生活排水净化対策研究会資料、昭和57年10月。
- 環境庁：未規制汚濁源対策調査報告書、昭和56年3月。
- 環境庁委託報告：生活雑排水対策調査、昭和57年3月。
- 日本下水道協会：昭和54年度公共下水道統計第36号、昭和56年。
- 建設省土木研究所調査、昭和44年。
- 大野茂・高橋一三ほか：畜舎排出汚水処理と処理設備下水道協会誌、Vol. 2, No. 15, pp. 30～48, 1965。
- 建設省編：流域別下水道整備総合計画調査、指針と解説、昭和55年。
- 小林ら：サイフォン環流式畜舎汚水浄化の微生物学的研究、日本土壤肥料科学雑誌、Vol. 50, No. 4, pp. 305～309, 1979。
- 都市廃棄物処理対策研究会、特殊汚物調査研究会：し尿処理施設の機能の実態と問題点の調査ならびに改善措置に関する研究、昭和45年3月。
- 同研究会：余剰汚泥の処理ならびにし尿処理場の脱臭に関する調査研究、昭和46年3月。
- 脇坂宣尚：厚東川水系の水質、細菌、底質動物についての調査研究報告、厚東川水系水質保全研究会、昭和58年4月。
- 建設省土木研究所：下水の細菌学的研究、土木研究所資料第1955号、昭和58年3月。
- Mishra, R. P. et al. : An Evaluation of the Standard Biochemical and Elevated Temperature Tests for Differentiating Fecal and Non-Fecal Coliforms, Water Research, Vol. 2, pp. 575～585, 1968.
- 中西弘：上下水の酸化処理に関する2, 3の研究、京都大学学位論文、昭和42年9月。
- Chick, H. : Investigation of the Laws of Disinfection, Jour. Hyg., Vol. 8, p. 92, 1908.
- Klock, J. W. : Survival of Coliform Bacteria in Waste Water Treatment Lagoons, Jour. WPCF, Vol. 45, No. 10, pp. 2071～2083, 1971. (1983.8.8・受付)