

II-554

下水道維持管理計画に関する基礎的研究 ——非線形・時間遅れを考慮した判別分析——

東京都立大学工学部 正員 小泉 明
 東京都立大学工学部 正員 稲員 とよの
 東京都立大学工学部 学生員 ○関根 啓介
 横浜市下水道局 正員 富永 裕之

1. はじめに

近年、我国において下水道の普及に伴って年々増加している中小規模の下水処理場における技術者不足等の諸問題が生じ、下水道維持管理の重要性が高まっている。そこで本稿では、今まで下水道職員が経験的な判断で処理場を維持管理してきた面も多かったが、その判断基準を客観的にすることを試みた。筆者らは、処理場の維持管理指標の一つとして処理水質(終沈流出COD)に着目し、下水処理場の処理水質が良い状態(A群)にあるか悪い状態(B群)にあるかを判別することのできる関数の作成を行う。

2. 処理水質の判別分析

今回の分析では、都市下水を中心に活性汚泥処理を行っているE下水処理場を対象とし、表-1に示す自動測定と手分析によって測定された要因及びそれらの合成要因である20変数6140個のデータ(1990年4月1日から92年3月31日迄の2年分)を使用する。そして処理場の状態を判断するための分析手法として判別関数法¹⁾を用いた。

まず図-1に示す終沈流出CODの1ヶ月移動平均により、処理状態の良否を判断する期間(判別期間)を設定した。図-1のグラフの△×で描かれているのが判別期間で、このグラフの最大値を中心に0.5σ以上をB群とし、最小値を中心に-0.5σ以下をA群とした。なお判別関数における要因間のウェイトを比較するためにデータを2年間の平均と標準偏差で基準化している。

次に判別関数に用いる要因はできるだけ少ないほうがシンプルで理解しやすいことから、要因を次第に減小させる方法²⁾により要因の選択を行った。その過程は20要因から6要因までは、要因のウェイトが小さいものを2要因ずつ減らし、その後は残った要因の組合わせを考え1要因ずつ減らして行くものである。要因を選択する判断基準として用いたのがマハラノビスの汎距離と呼ばれるもので、この値が大きいほど良好に判別されることを意味している。マハラノビスの汎距離と要因数の関係をグラフにしたのが図-2である。これよりマハラノビスの汎距離が極端に下がる1つ手前を選択し、表-1に示す⑦、⑩の2要因が抽出された。これらの要因による判別関数式を以下に示す。(ケース1)

$$A群: Y_A = 4.505X_1 - 12.509X_2 - 4.964 \cdots (1), \quad B群: Y_B = -7.756X_1 + 1.865X_2 - 4.882 \cdots (2)$$

ただし、 $X_1 = (T - 20.5) / 3.89$, $X_2 = (C - 3688) / 3873$, T : ⑦水温, C : ⑩溶存酸素当り流入水質2乗(流入COD²/MLDO)である。

3. 非線形・時間遅れを考慮した判別分析

2. で作成した判別関数式は⑩のような合成要因を用いているものの、式自体は線形の型となっている。

表-1 解析に用いる要因

① 処理水量	⑫ 返送汚泥量
② 余剰汚泥量	⑬ 送気量
③ 初沈流入COD	⑭ 初沈流出COD
④ 水温	⑮ PH
⑤ MLSS	⑯ SVI
⑥ MLDO	⑰ 返送汚泥SS
⑧ 送気率	⑱ COD負荷量
⑨ COD-MLSS負荷	⑲ 除去COD-MLSS負荷
⑪ 流入水質・溶存酸素負荷(流入COD/MLDO)	⑳ 溶存酸素当り流入水質2乗(流入COD ² /MLDO)
⑫ 溶存酸素当り流入水質2乗(流入COD ² /MLDO)	㉑ 生物・溶存酸素当り流入水質(流入COD/MLDO/MLSS)
⑬ 生物・溶存酸素当り流入水質(流入COD/MLDO/MLSS)	㉒ 流入水質・生物・溶存酸素負荷(流入COD ² 乗/MLDO/MLSS)

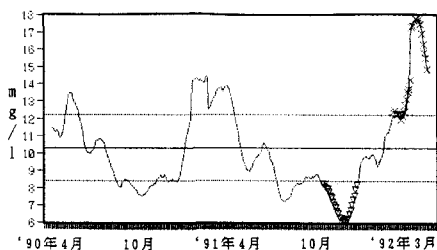


図-1 終沈流出CODの1ヶ月移動平均

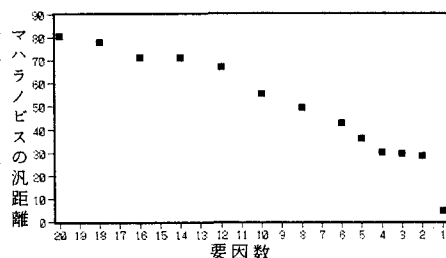


図-2 要因数別マハラノビスの汎距離

下水処理のメカニズムはきわめて複雑であることから、処理水質に影響を与える要因の非線形な関係や時間遅れの影響を考慮する必要がある。そこで、ケース1の判別関数式を基に非線形と時間遅れを考慮した判別分析を行った。

まず、非線形項については $\text{EXP}(X)$ 、 $\text{EXP}(-X)$ 、そして X^3 の3種類を取り上げ、元の形である線形項とこれらを加えた4種類の組み合わせ16通りについて検討した。この結果、水温に関しては非線形を考慮しない方が判別効率が良く、溶存酸素当り流入水質2乗については $\text{EXP}(-X)$ を取ると判別効率が向上することが判明した。次に時間遅れ項については、1週間前と1ヶ月前についての平均値及び最大値・最小値に着目した。すなわち、水温は線形項、溶存酸素当り流入水質2乗は $\text{EXP}(-X)$ の非線形項として、これに時間遅れを加味した全14要因による検討を行った。そして、ケース1と同様の要因選択を行った結果、最終的には6要因が抽出され以下に示す判別関数式を得た。(ケース2)

$$A \text{ 群} : Y_{HA} = 46.70X_3 - 124.40X_4 + 104.35X_5 + 4.48X_6 - 62.66X_7 + 188.47X_8 - 198.09 \dots\dots\dots(3)$$

$$B \text{ 群} : Y_{HB} = 33.47X_3 - 96.06X_4 + 66.90X_5 + 5.30X_6 - 63.08X_7 + 141.14X_8 - 104.16 \dots\dots\dots(4)$$

ただし、 $X_3 = (T - 20.5)/3.89$ 、 X_4 : X_3 の1週間平均値、 X_5 : X_3 の1週間最大値、 $X_6 = \text{EXP}\{-(C - 3688)/3873\}$ 、 X_7 : X_6 の1ヶ月最大値、 X_8 : X_6 の1ヶ月最小値である。

ケース2で非線形・時間遅れを考慮した判別関数は、ケース1に比べ判別効率が向上し、誤判別率も0%となっている。このケース2の判別関数に、2年分のデータを入力し、下水処理場の状態の判断基準とした終沈流出CODとの傾向を定量的に比較した(図-3)。なお、この比較は単位がそれぞれ異なるため平均0、分散1となる様に基準化してある。また、距離指標はA群とB群からの距離の差としており、大きいほどB群に近いことを表わしている。図-3では、両者の傾向はほぼ同じであるものの、細かい変動については一致していない。

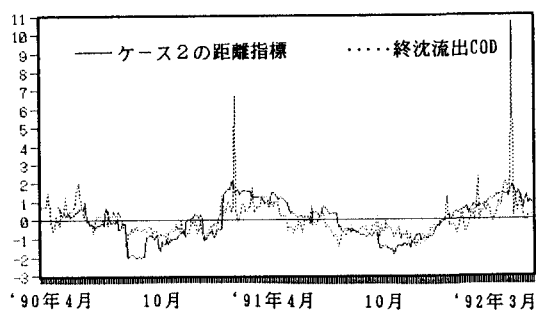


図-3 距離指標と処理水質の比較

そこで、判別分析の際に通常行われている定性的な検証を行う。これは、処理水質のランクごとに(3)式及び(4)式の判別関数による判断を行い、各ランクの水質を、作成した判別関数がどの様に判断するかを見ようとするものである。この結果を表-2に示す。これより、処理水質が16mg/l以上という非常に高い値のときには100% B群であると判断されることがわかる。また、90%以上の確率で処理水質が12mg/lを越える場合はB群と判断されることから、今回対象としたE下水処理場での維持管理の判断基準として、処理水質12mg/lを一つの目安とすれば良いと考える。

表-2 処理水質別B群率

mg/l	B群数	A群数	B群率
16以上	10	0	100%
15	11	1	91.7%
14	8	0	100%
13	22	1	95.7%
12	22	2	91.7%
11	25	12	67.6%
10	12	7	63.2%
9	23	18	56.1%
8	13	46	22.4%
7	10	34	22.7%
7未満	1	19	5.0%

4. おわりに

本稿では、下水処理場における維持管理の判断基準を判別関数により作成することを試みた。提案した判別関数は非線形項や時間遅れ項を考慮したものであり、水温、流入COD、MLDO、といった要因によって表されるものである。この判別関数により、処理水質の良否を判断することが可能になるとともに、維持管理する際の判断基準の作成にも有効であるといえた。なお本研究の結果は、あくまでも対象としたE下水処理場固有の結果であり、今後さらにいろいろな下水処理場についても検討を進める必要があると考えている。

[参考文献]

- 1) 奥野忠一, 芳賀敏郎, 久米均, 吉沢正: 多変量解析法, 日科技連, pp. 259-321, 1971
- 2) 川口士郎, 小泉明, 稲員とよ, 諸木正浩: 海外水道技術援助に対する日本の水道事業の人的ポテンシャル指標化への試み, 水道協会雑誌, 第640号, pp. 2-12, 1988