

II-483

下水処理システムにおけるモデルの境界に関する一考察

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

1. はじめに

近年、我国において下水道の維持管理は重要な課題であり、この中でも特に下水処理システムの維持管理は将来の水環境を保全していく上でも大切なものと考えられる。著者らは、下水処理システムを統計的視点で捉え、伝達関数ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) モデル¹⁾による下水処理システムの時系列分析法を提案した²⁾。この方法は、下水処理システム全体をブラックボックスとして捉え、入力、出力、制御要因、さらには外乱要因の時系列変動特性やそれらの相互関連を分析した上で、下水処理システムを伝達関数ARIMAモデルによって記述するものである。

下水処理システムは数多くのプロセスから構成されている為、対象とするモデルの境界をどの様に設定したらよいかが問題となる。そこで本稿では、下水処理システムのモデル化について、システム全体として捉えるモデルと細分化して捉える分割モデルとの場合について統計的な視点から比較検討する。

2. 下水処理システムの捉え方

今回の分析では、家庭汚水を主として活性汚泥処理しているA下水処理場を対象とし、表-1に示す管理月報に記載された要因及びそれらの合成要因である19変数1748個の日データ(1981年7月1日から9月30日迄の3箇月分)を使用する。本稿では、図-1に示した下水処理プロセスを、最初沈殿池の流入から流出までの範囲、曝気槽流入から最終沈殿池流出までの範囲に分割して捉える分割モデル(I+IIモデル)と、下水処理プロセス全体を捉えるモデル(IIIモデル)により比較する。

①気温 (°C)	②水温 (°C)
③初沈流入COD (mg/l)	④処理水COD (mg/l)
⑤曝気槽MLDO (mg/l)	⑥処理水DO (mg/l)
⑦受水量 (千m ³)	⑧推定雨量 (千m ³)
⑨高級処理水量 (千m ³)	⑩返送汚泥率 (%)
⑪空気量 (m ³)	⑫余剰汚泥量 (千m ³)
⑬初沈流入透視度 (cm)	⑭降雨量総量 (mm)
⑮降雨量最大強度 (mm/h)	⑯初沈沈殿時間 (min)
⑰初沈流入水質-溶存酸素比 (③/⑤)	
⑱初沈流出水質-溶存酸素比 (⑥/⑤)	
⑲初沈流出COD (mg/l)	

表-1 解析に用いる要因

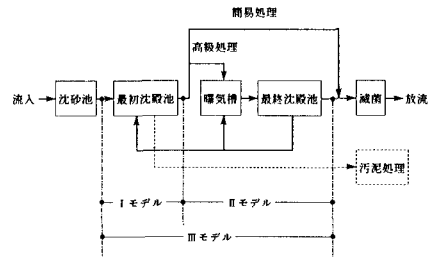


図-1 対象とする下水処理プロセス

3. 下水処理システムのモデル化

モデル化には伝達関数ARIMAモデルを用いる。このモデルは一般的に次式で表される。

$$Y_t = \mu + \{ \omega(B) / \delta(B) \} X_{t-b} + \{ \theta(B) / \phi(B) \} a_t \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 t : 時間の指標、 Y_t : 出力時系列、 X_t : 入力時系列、 b : 時間遅れ、 a_t : ランダム誤差、 μ : 定数項、 $\omega(B)/\delta(B)$: 伝達関数荷重 [$\omega(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \dots - \omega_s B^s$] [$\delta(B) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r$]、 $\phi(B)$: 自己回帰演算子 [$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$]、 $\theta(B)$: 移動平均演算子 [$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$] である。なお、 B は後退演算子であり、例えば BY_t は Y_{t-1} を表す。モデル要因の選定における、II, IIIモデルの出力要因には、総量規制の対象となっていて有機汚濁の代表的な指標である④処理水CODを用いる。Iモデルでは、④に最も関係が深い⑲初沈流出CODを用いる。それぞれの出力要因を記述する入力要因についての決定は、各モデルの出力要因と表-1に示す要因との相互相関係数を計算し、出力要因との相互相関が高い要因を入力要因として選出した。Iモデルの入力要因は③初沈流入COD、IIモデルは⑱初沈流出水質-溶存酸素比、IIIモデルは⑲初沈流入水質-溶存酸素比、がそれぞれ選出された。

これらの入出力要因をもとに3つの伝達関数ARIMAモデルを作成する。伝達関数荷重項の次数 r, s と自己回帰項及び移動平均項の次数 p, q は、種々のケースについて検討した。この結果、Iモデルでは $r=s=0$, $p=1, q=1$ が、II、IIIモデルでは $r=s=1, p=1, q=1$ におけるケースが5%のカイ2乗検定で有意となり、しかも、自由度調整済み重相関係数 R^* も0.8以上となり統計的に有意なモデルが作成された。それぞれのモデル式は次のように記述される。

$$\text{Iモデル: } Y_t = 25.65 + 0.43X_t + (1 + 0.40B)/(1 + 0.17B)a_t \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{IIモデル: } Y_t = 9.91 + (0.11 - 0.05B)/(1 - 0.78B)X_t + (1 + 0.12B)/(1 - 0.27B)a_t \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{IIIモデル: } Y_t = 9.53 + (0.10 - 0.04B)/(1 - 0.80B)X_t + (1 + 0.11B)/(1 - 0.29B)a_t \quad \dots\dots\dots(4)$$

4. 分割モデルと全体モデルの統計的比較検討

IモデルとIIモデルはIIIモデルを分割したもので、下水処理システムをより細分化した視点で捉えている。そこで、Iモデルで推定された⑨初沈流出CODをIIモデルの入力値として取り扱う分割モデル(I+IIモデル)とIIIモデルを比較することにより、下水処理システムにおける分割モデルと全体モデルの統計的比較検討を行う。I+IIモデルとIIIモデルの推定値をグラフにしたのが図-2であり、両モデルによる推定値と実測値との自由度調整済み重相関係数は、0.87、0.86ときわめて高く、両者とも統計的に有意なモデルといえる。これよりI+IIモデルとIIIモデルは、ほぼ同じであると判断できる。この2つのモデルをさらに比較するために、実測値との残差をプロットしたものが図-3であり、残差の系列も同程度であることが分かる。しかしながら、この結果は対象としたA下水処理場固有の結果であることも考えられるので、A処理場と同様に活性汚泥法により都市下水を中心に処理しているE処理場についても、管理月報のデータより同じ変数を用いた検討を行った。同様の比較検討を行い、両者の残差をプロットした図-4よりA処理場と同様の結果を得た。以上の検討から、下水処理システムのブラックボックスモデルは細分化しても統計的にそれほど有意とはならないことが明らかとなった。

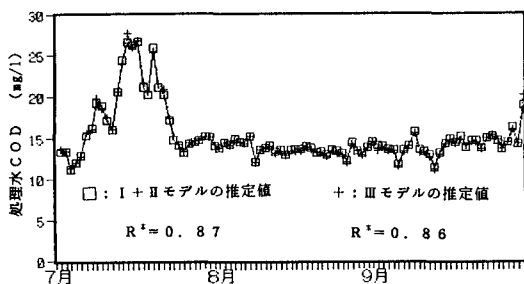


図-2 I+IIモデルとIIIモデルの比較

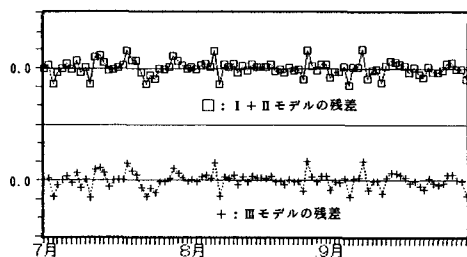


図-3 A処理場における残差プロット

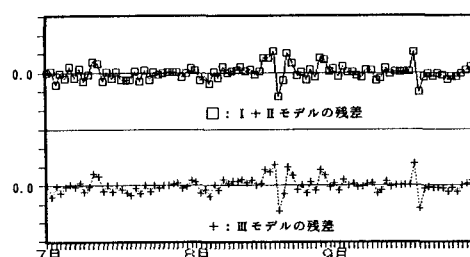


図-4 E処理場における残差プロット

5. おわりに

本稿では、下水処理システム全体を1つの大きなブラックボックスとして捉えるモデルと2つのブラックボックスとして捉える分割モデルの統計的比較を行った。この結果、下水処理システムはプロセス全体を一括してモデル化しても、統計的には分割モデルと同程度の有意さを示すことが分かった。今後、維持管理計画に統計モデルを利用する場合、モデルの簡易性を考慮すれば、下水処理システム全体を1つのブラックボックスとして把握してもよいと考える。

[参考文献]

- 1) W. ヴァンデル：時系列入門—ボックス—ジェンキンスモデルの応用—，多賀出版，1988
- 2) 小泉明・稲員とよの：下水処理システムの時系列分析，下水道協会誌，No.293，pp.48-58，1988