

II-517

下水道維持管理計画に関する基礎的研究

下水処理場データのスペクトル解析－

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○加藤 徹

1. はじめに

最近、下水処理システムの適切な維持・管理の問題が検討されてきている。下水処理システムの入力及び出力の変動特性を把握した上で、制御要因や外乱の影響を考慮した入出力応答モデルを作成し、処理場運転管理の為に有効な情報を得ることが重要と考えられる。筆者らは以前の研究で、下水処理システムをマクロ的に記述するモデルとして伝達関数ARIMAモデルを提案し¹⁾、モデル化に必要なデータサイズ等についても検討を行なってきた²⁾。

本研究では、下水処理システムにおける各要因の変動特性の内、特に周期変動に着目し、スペクトル解析を行なうこととする。

2. 分析手法及び使用データ

スペクトル解析にはパワースペクトルによるものとクロススペクトルによるものがある。前者は自らのデータ系列中の周期変動を見出すものである。一方、後者は他の要因との間で、2つのデータ系列中にある周期変動の関係を分析するものであり、この関係は一般にコヒーレンスにより表示される。これらの基礎式を以下に示す。

$$S_{xx}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \{1/T \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-i2\pi f t} dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{i2\pi f t} dt\} \quad (1)$$

$$S_{xy}(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \{1/T \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-i2\pi f t} dt \cdot \int_{-\infty}^{\infty} Y(t) e^{i2\pi f t} dt\} \quad (2)$$

$$Coh^2(f) = |S_{xy}(f)|^2 / \{S_{xx}(f) \cdot S_{yy}(f)\} \quad (3)$$

ただし $S_{xx}(f)$:パワースペクトル, $S_{xy}(f)$:クロススペクトル, $Coh^2(f)$:コヒーレンス

$X(t), Y(t)$:解析する要因の時系列, T :周期区間, f :周波数 (1/T)

対象とした処理場は、活性汚泥処理法により都市下水を処理しているA処理場である。また、データは管理月報に記載されている日データ2年分(730個)で、解析に用いた要因は次の15変数である。

入力要因: 受水量, 初沈流入COD, 初沈流入透視度, 雨量

出力要因: 高級処理水量, 処理水COD, 処理水DO, 余剰汚泥量

制御要因: 空気量, 曝気槽MLDO, 返送汚泥率, 曝気時間, 沈殿時間

外乱要因: 気温, 水温

なお、パワースペクトル解析を行なう際、各要因の周期性の相対的大きさを比較するため、データ $[X(t)]$ を(4)式により平均値及び標準偏差で基準化した上で、パワースペクトルを計算する。このパワースペクトルを基準化パワースペクトルと呼ぶ。

$$X'(t) = \{X(t) - \mu_x\} / \sigma_x \quad (4)$$

ただし $X'(t)$:基準化されたデータ, μ_x : $X(t)$ の平均値, σ_x : $X(t)$ の標準偏差

3. 基準化パワースペクトルによる分析

2で示した各要因について、基準化したデータのパワースペクトルを計算した。その周期及び大きさにより分類した結果を表1に示す。表1より、全ての要因に1年周期(季節変動)が存在していることが分る。そして、初沈流入COD, 初沈流入透視度, 曝気槽MLDO, といった要因には1週間の周期変動が、処理水CODには1週間及び1ヵ月の周期変動が、余剰汚泥量

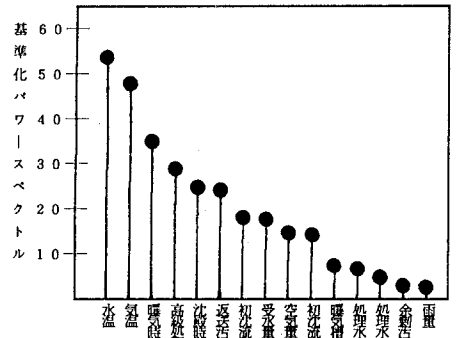
表1 各要因の基準化パワースペクトル

要因	周期	1年 (365日)	3ヵ月 (90日)	1ヵ月 (30日)	1週間 (7日)
水 温		●			
気 温		●			
曝 気 時 間		◎			
高級処理水量		◎			
沈 殿 時 間		◎			
返送汚泥率		◎			
初沈流入COD		○			△
受 水 量		○			
空 気 量		○			
初沈流入透視度		○			△
曝気槽MLDO		△			△
処理水COD		△		△	△
処理水DO		△			
余剰汚泥量		△	△		
雨 量		△			

凡例: ● 40~ ◎ 20~40 ○ 10~20
 △ 1~10 風印 ~1

には3ヵ月の周期変動が見られた。しかしながら、これらの基準化パワースペクトルはいずれも1年周期の値に比べ、小さい値となっている。次に、各要因の1年周期の基準化パワースペクトルに着目し、これらをを大きさ順に並べた結果、図1を得た。図1より、水温、気温といった季節変動の強い要因は大きな1年周期のパワースペクトルの値を示し、ランダム変動だと考えられる雨量は小さな値を示している。したがって、基準化パワースペクトルは周期変動の分析に有効であると判断される。さらに図1より、初沈流入COD等の入力要因及び返送汚泥率等の制御要因は、処理水COD等の出力要因に比べ大きな基準化パワースペクトルを示している。これは入力要因の季節変動に対して、A処理場では、これに対応した制御が行なわれ、その結果出力要因には季節変動が殆ど見られなくなったものと推察される。

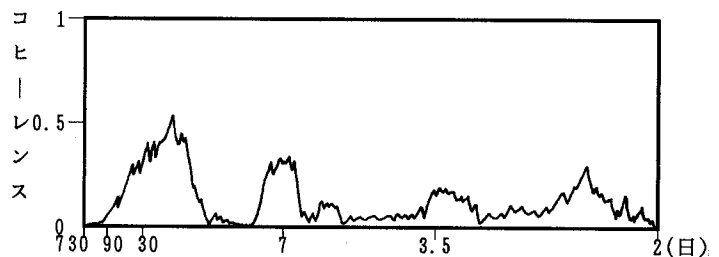
図1 各要因の1年周期
基準化パワースペクトル



4. クロススペクトルによる分析

次に入力・制御・出力要因の関係を見出す為、入力要因の代表的なものである初沈流入CODと制御要因の1つである曝気槽MLOとで「初沈流入COD／曝気槽MLO」という合成ファクターを作り、これを入力・制御要因とした。この入力・制御要因と出力要因の代表的なものである処理水CODとでクロススペクトル解析を行なった結果、図2に示すコヒーレンスの値を得た。図2より3日、7日、30日付近にピークが見られ、90日以上長い周期ではクロススペクトルが殆ど見られない。この結果より、入力・制御要因は、数日から30日程度の遅れをもって出力に影響を及ぼすものと推察される。従来の研究³⁾では、30日分のデータを用い、出力として処理水COD、入力として前述の合成ファクターを用いた伝達関数ARIMAモデルにより下水処理システムをモデル化している。この伝達関数ARIMAモデルは、過去の入力・制御要因の影響を考慮できるモデルであり、データサイズを30日としたことも、今回クロススペクトル解析で得られた結果と一致しており、以前に提案したモデルの妥当性が確かめられたと考える。

図2 入力・制御要因と出力要因のクロススペクトル



5. おわりに

本稿では、基準化パワースペクトル解析により、下水処理場の維持管理要因の周期変動特性を把握することができた。さらに、クロススペクトル解析により、入力・制御要因の出力要因への影響は数日から30日程度の遅れを有していることが分った。このように、スペクトル解析は下水処理場運転管理の為の情報を得ることのできる有効な手法の1つであることが明らかとなった。今後、スペクトル解析を用いることにより、種々の下水処理場の維持・管理特性を比較・検討することが可能であると考えられる。

〔参考文献〕

- 1) 小泉, 稲員, 佐々木: 下水道維持管理計画に関する基礎的研究—ARIMAモデルによる処理場データの解析, 土木学会第41回年次学術講演会, 第II部, 1986
- 2) 小泉, 稲員, 大山: 下水道維持管理計画に関する基礎的研究—データサイズを考慮した処理場データの解析, 土木学会第42回年次学術講演会, 第II部, 1987
- 3) 小泉, 稲員: 下水処理システムの時系列分析, 下水道協会誌, Vol. 25 No. 293, 1988