

IMDH (Interactive Method of Data Handling) による活性汚泥プロセスのモデル化に関する研究

京都大学工学部

○津村 和志、平岡 正勝、布川 昊

大阪府立北野高等学校

兩部 實

システム総合研究所

榎木 義一

1 はじめに

従来の活性汚泥法のモデルは、物理化学的あるいは生物学的知識にもとづく理論モデルか、統計学的に入出力の解析をおこなう統計モデルかに分類される。これらモデル化への両アプローチ法は、運転管理への利用を考える場合、それぞれ欠点をもっている。すなわち、理論的モデリング法は、詳しいモデルを作ろうとすると複雑になり、そのモデルに含まれるパラメータの多さゆえ、実データからそれらの値を決定できなくなる。活性汚泥法のように系の特性が変化する系では、理論モデルを運転管理に直接的に利用するのは難しいと言える。一方統計モデルは、そのモデルの良否がデータに大きく依存するため、注意深いデータ収集のための実験計画と長期にわたるデータ収集期間が、よいモデル作りの前提となる。このような条件を得ることは、実際に稼働中の処理場では難しいと言える。

IMDHは、モデリングの第3の方法を与える。すなわち理論的モデリング法は、モデル作成者の知識に重点をおき、モデル化すべき現場で得られたデータを従とする。一方統計的モデリング法では、得られたデータを主とし、知識は従とする。IMDHでは、このように一方にかたよったモデル化が上記の困難を引き起こしていると考える。現場のオペレータの知識の内容についてみると、変数間の因果関係等の定性的関係については詳しいが、定量的関係についての知識はあいまいだといえる。IMDHでは、オペレータが持つ因果関係の知識を、(i) XはYに必ず影響を持つと確信できる場合、(ii) XがYに影響を与えるかもしれない場合、(iii) XはYに必ず影響を与えないと確信できる場合の3つのタイプにわけ、このようなプロセスに対するオペレータの認識を条件に、得られたデータをもちいて変数間の量的関係を決めてゆく。関係が不確定の変数〔タイプ(ii)〕については、モデル作成上の精度が良いときには選択し、そうでないときには、選択されない。このようにIMDHでは、変数間の構造については、オペレータの知識に重点を置き、定量的関係についてはデータを重視する。

本研究は、IMDHを活性汚泥プロセスの動特性表現に用いた結果を報告する。活性汚泥プロセスは理論的に解明されている部分もあるが、いまだ未解決の部分も多い。また、たとえばDO一定制御がなされているような処理場においては、DOの影響は他の変数に現れないので、この変数は入れるべきでないと判断されるべきである。実際、このような変数を入れると、得られたモデルが不安定化するという悪影響が認められる。このように、各処理場固有のデータの特徴を反映したモデル化が、IMDHでは可能となる。なお本研究では、IMDHの基本的なモデリング手順を適用したが、モデル作成者(オペレータ)の持つ知識の程度に応じて、定量的な関係もモデル作成時に考慮することが可能である。

2 IMDHの概要

本手法は、モデル作成者の持つ知識の形態や程度、またデータの信頼性によって、モデル作成の過程が違ってくる。ここでは、活性汚泥プロセスの動特性表現で用いられたモデル作成の手順について述べる。

2.1 定性的知識の表現

IMDHでは、変数間の関係を表す定性的なモデル作成者の知識を、事前情報行列という形で与える。変数間の関係が次式で表現されるとき、 X_i を目的変数、右辺()内の X_j を説明変数という。

$$X_i = f(X_1, \dots, X_j, \dots, X_n) \quad (1)$$

ある目的変数 X_i の表現に説明変数 X_j が含まれるべきかどうかの關係に、IMDHでは先に述べたように3つのタイプを考える。第1は、 X_j が X_i に影響することが確信できる変数で、これは「白い変数」とよぶ。次に X_j が X_i に影響するかどうか不明の変数で、これらは「灰色の変数」と呼ばれる。最後に、 X_j が X_i に影響しないと確信できる変数で、これは「黒い変数」と呼ばれる。これら各關係は、それぞれ事前情報行列中で、2, 1, 0と表される。図1のaは、処理場のデータにIMDHを適用し、最終的に確定した事前情報行列の例である。たとえば、終沈流出水のUV(UVef)は、「自分自身の過去の値とMLSSと曝気槽流入UV(UVin)の影響は必ず受けるが、曝気槽中・後段部のDOの影響は受けない。これ以外の変数については、状況に応じてモデル式に変数が含まれても良いし、含まなくても良い」と表現されている。IMDHでは、この事前情報行列で以下のモデル作成が制御される。

2.2 定量的変数間關係の決定

灰色の変数がある場合、必要な説明変数の選択は、自己学習組織的になされる。IMDHは2つの自己学習組織を持つ。1つは、白色の変数と灰色の変数の結合を取り扱う部分である。

(A) 自己学習組織1 ここではまず、白色の変数のみを用いて、目的変数の予測式を最小二乗法で作成する。次にこの予測値を変数値とする変数 Y_0 と、灰色の変数各々との組み合わせ(2)式について、同じく最小二乗法で予測式を作る。

$$Y_i = a_{i0} + a_{i1}Y_0 + a_{i2}X_i \quad (X_i \text{は灰色の変数の集合の要素}) \quad (2)$$

この各 Y_i の中から、説明変数に対するステップ応答が、従来の経験的知識に合致するもののみを選択し、次の自己学習組織2に送る。

なお説明変数の時間遅れについては、自分自身が白い変数に選ばれているときには1ステップ前の値を説明変数とする。他の白い変数については、目的変数とのコレログラムを求め、最大の相関を示す時点とその前後の時点の連続した3点を説明変数とした。一方灰色の変数については、このような取り扱いはせず、各遅れを持つ変数を同等に取り扱う。

(B) 自己学習組織2 ここでは、自己学習組織1で選択された変数から、任意の2変数の全ての組み合わせで、最小二乗法により新しい予測変数群を作る。式の形は(2)式と同様の線形結合である。そしてこの中から、平均二乗誤差の小さいほうから順に、ここに送られてきた変数の数の半数だけを選択し、再び自己学習組織2に送る。最終的に新たに作られる変数が1つだけになるまで、変数の生成と選択を繰り返す。

2.3 モデル式の選択

以上の自己学習組織の過程で生成された全変数の中から、最も精度の良いモデルが、その因果關係の構造を示した構造グラフと共に示される。モデル作成者は、このIMDHからの基本情報と独自のモデル検証の手続きのあと、事前情報行列の修正、変数の追加・削除、あるいはデータそのものの検討などを行ない、再度モデル作成を行う。この計算機との会話は、満足のゆくモデルが得られるまで繰り返す。

このようにIMDHでは、定量的変数間關係は計算機が担当し、定性的關係部分は、人間が計算機上のツールを利用して判断を下す、相互に補完しあうシステムになっている。

3 活性汚泥プロセスへの適用結果

モデル化に際して考慮した変数を表1に示す。データは1分間隔計測の1時間平均値である。6日間のデータをモデル作成に用い、それに続く1日間を、モデルにもとづいて予測した。表1の変数には、生活サイクルを反映する24時間変動と、さらに長期周期の変動が重なり合っている。これを合わせて予測することは困難であることから、変動を短期変動成分と長期変動成分に分けて、各々についてモデルを作成し、あとでふたつを結合させている。長期変動成分のデータは、原データの24時間移動平均より求め、短期変動成分のデータは、この平均に対する比として求めた。最終的に確定した事前情報行列、構造グラフ、終沈流出

表1 計測変数リスト

1 UVef 終沈出口UV	7 MLSS 曝気槽MLSS	13 Aq2 曝気槽後段空気量
2 SSeF 終沈出口SS	8 SV30 曝気槽SV ₃₀	14 UVat 曝気槽流入UV
3 pHef 終沈出口pH	9 DO1 曝気槽入口DO	15 SSat 曝気槽流入SS
4 Qrs 返送污泥量	10 DO2 曝気槽中央DO	16 pHat 曝気槽流入pH
5 Qws 余剰污泥量	11 DO3 曝気槽出口DO	17 Qat 曝気槽流入流量
6 Crs 返送污泥濃度	12 Aq1 曝気槽前段空気量	18 T 水温

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
UVef	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	0	1	1	2	1	1	1	1
SSef	0	2	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
pHef	1	0	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crs	0	0	0	2	0	2	2	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
MLSS	0	0	0	0	2	1	2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
SV30	0	0	0	0	2	1	0	2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
DO1	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1
DO2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	1	1	1	0
DO3	1	0	1	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
UVef	2	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0
SSef	1	2	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
pHef	1	1	2	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0
Crs	0	0	0	1	0	2	2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
MLSS	0	0	0	0	0	1	2	0	1	1	1	0	0	0	2	0	2	0
SV30	0	0	0	0	0	2	1	2	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1
DO1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	1	0	1	1	1	1	1
DO2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	1	1	0	0	1
DO3	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	2	1	1	2	0	1	1	0

図1-a 事前情報行列 (長期変動成分)

図1-b 事前情報行列 (短期変動成分)

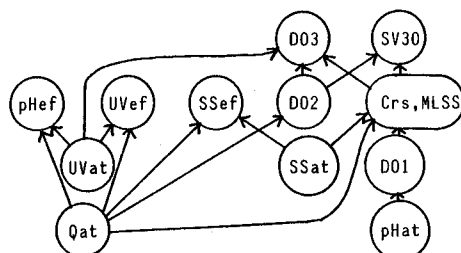
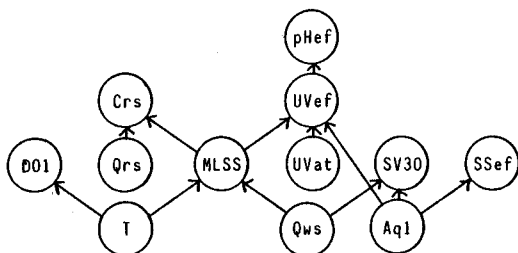


図2-a 構造グラフ (長期変動成分)

図2-b 構造グラフ (短期変動成分)

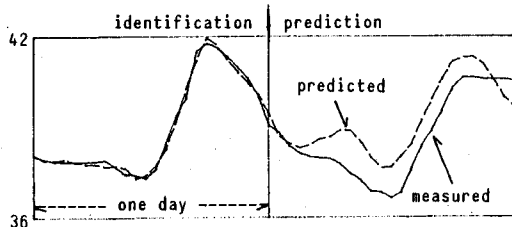


図3-a 終沈出口UVの予測結果

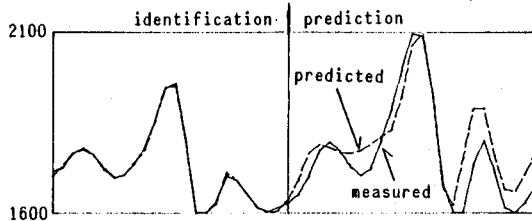


図3-b MLSSの予測結果

水UVとMLSSの予測結果を、それぞれ図1, 2, 3に示す。この予測では、終沈流出水UV等の予測結果を次の時点での予測に用いている。

4 結論

本研究では、IMDHを活性汚泥プロセスの動特性表現に用いた。その結果、変動成分を長期と短期に分けることで、モデル作成が可能となることが明らかとなった。これはまた、図2に示されるように、曝気風量が長期モデルで選択され短期モデルで選択されないのに対し、流入流量はその逆であるなど、プロセスの特性を考えるうえで興味ある情報も提供している。さらにモデル作成をオンライン化し、構造グラフの変化を追跡すればプロセスの変化がとらえられるなど、運転管理へ有効に利用しうることが確認できた。IMDHという手法の性格上、これからより良いモデルを得るための変更は起こるが、本手法が活性汚泥プロセスの運転管理を考えたときのモデリング手法として有効であろう。