

# 活性汚泥モデル No. 2d におけるモデルパラメータの感度解析に関する考察

## Consideration of the Sensitivity Analysis of the Model Parameter using Activated Sludge Model No.2d

○徳永一成, 平林和也, 杉井隆造  
(株)安川電機

○Kazunari Tokunaga, Kazuya Hirabayashi, Ryuzo Sugii  
Yaskawa Electric Corp.

Recently, examinations of the wastewater treatment process using the Activated Sludge Model are attracting the attention. The sensitivity analysis presents knowledge of the influence of varied parameters on the qualities of water. Model parameters adjusted based on the sensitivity analysis improve the calculation accuracy. In this study, the influence of pump operating conditions on the sensitivity analysis was investigated. Consequently, it has been apparent that if SRT is shortened the deviation of  $\text{NH}_4$  from that calculated by standard value of parameters  $\mu_{\text{AUT}}$  is remarkable. And it has been apparent that if the internal recycle ratio is changed, the influence on  $\text{NO}_3$  by  $\mu_{\text{AUT}}$  change is negligible.

key words: Activated Sludge Model No.2d, model parameters, sensitivity analysis, pump operating conditions, input data

### 1 背景

近年、活性汚泥モデルを用いた下水処理の検討が盛んに行われている。その際、モデルパラメータを調整して予測精度を向上させる前に、水質の予測結果にパラメータがどの程度影響するかを把握するための感度解析が行われる。ここで注意すべき点は、感度解析に用いる入力データの扱い方である。入力データには流入下水の水質や流量、ポンプの運転条件などがある。これらのデータには、時間変動のあるデータ（1時間おきのデータなど）と時間変動のないデータ（日平均値や代表値など）がある。入力データの時間的な変動に関しては、我々の最近の研究報告[1]の中でその見解を述べた。今回は固定データ（ポンプ運転条件）の変更による感度解析への影響に関して比較検討を行ったので、その結果を報告する。

### 2 下水水質シミュレーション

下水水質シミュレーションには、国際水学会（IWA）の活性汚泥モデル No.2d<sup>2)</sup>を用いた。計算を適用した下水処理系は、 $\text{A}_2\text{O}$ 法による窒素・りん除去運転を行っている。以下に計算条件とその結果を示す。

#### 2.1 計算条件

本報告では、ポンプ運転条件の変更による影響の理解を容易にするために、ポンプ運転条件の1つを変更している場合は、他のポンプ運転条件は変更しない。さらに全入力データは全て日平均値を用いており、変数となる条件は、この日平均値を基準として変更している。

SRTは15日を基準として前後に10日、20日と変更した。循環率は100%を基準として前後に50%、150%と変更した。但し、返送率は窒素への影響が小さいと予想されるので対象から外した。また、 $\mu_{\text{AUT}}$ はモデル推奨値1を基

準として、基準値から -20%, 0%, +20% と3段階に変更した。計算期間として30日の予備計算を行い、最終日(30日目)の最終時刻のデータを計算結果として用いた。

Tab.1 に SRT を変更した場合の計算条件を、Tab.2 に循環率を変更した場合の計算条件を示す。表に示されていない残りの条件(流入水質など)は全て日平均値を用いている。

Tab.1: SRT の条件

	SRT	$\mu_{AUT}$
1	10 日	+20%
2		0%
3		-20%
4	15 日	+20%
5		0%
6		-20%
7	20 日	+20%
8		0%
9		-20%

Tab.2: 循環率の条件

	返送率	$\mu_{AUT}$
10	50%	+20%
11		0%
12		-20%
13	100%	+20%
14		0%
15		-20%
16	150%	+20%
17		0%
18		-20%

## 2.2 計算結果

Fig.1,2 に前記ポンプ運転条件と  $\mu_{AUT}$  に関する計算条件での計算結果を示す。SRT は硝化反応に影響を及ぼすので、Fig.1 に SRT と  $\mu_{AUT}$  を変更した場合の最終好気槽の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化を示す。循環率は脱窒反応に影響を及ぼすので、Fig.2 に循環率と  $\mu_{AUT}$  を変更した場合の最終好気槽の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の変化を示す。

### 2.2.1 SRT を変更した場合

Fig.1 に SRT を10日から20日まで変更した場合の  $\mu_{AUT}$  の変更による最終好気槽の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化を示す。図中に示す A, A', B, B' は、 $\mu_{AUT}$  0% で各 SRT の計算結果を基準とし、 $\mu_{AUT} \pm 20\%$  ごとの  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化幅を表している。グラフより以下のことが確認できる。

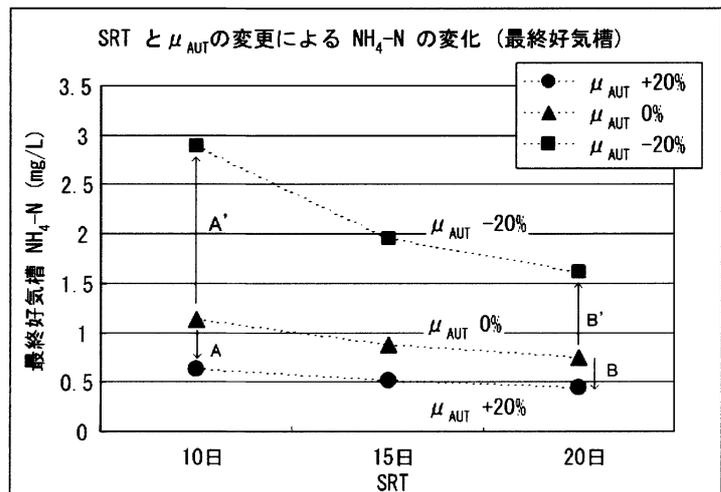
- 図中 A:B に関して

$\mu_{AUT}$  が +20% と大きくなったことで硝化菌の増殖が促進され、硝化が進み、 $\text{NH}_4\text{-N}$  が低下している。また、SRT を変更しても最終好気槽の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化幅の差は小さい。これは  $\mu_{AUT}$  が高く設定されているので硝化菌が増殖し、SRT が短くても十分に硝化反応が起きているからと考えられる。

- 図中 A':B' に関して

$\mu_{AUT}$  が低く設定されているので、硝化菌の菌体数が減って硝化が進まず、全体的に  $\text{NH}_4\text{-N}$  が残っている。

また、B' よりも A' が大きくなっている (A' > B') 理由は、 $\mu_{AUT}$  は低く設定されているが、A' の SRT は B' の SRT よりも短くなっているため、相対的に汚泥の滞留時間が短く、その結果、硝化菌の増殖が進まず、A' では B' よりも硝化が進みにくい状態になっているからと推測される。

Fig. 1: SRT と  $\mu_{AUT}$  の変更による  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化 (最終好気槽)

● 図中 A:A' に関して

SRT が同一条件下で  $\mu_{AUT}$  を  $\pm 20\%$  とした場合の  $NH_4-N$  の変化幅が異なっている。これは次のような理由によると考えられる。まず、 $\mu_{AUT} + 20\%$  時の単位時間当たりの  $NH_4-N$  の減少分を X、 $\mu_{AUT} - 20\%$  時の単位時間当たりの  $NH_4-N$  の減少分を Y とする。 $\mu_{AUT}$  が低いと硝化に関する反応速度式が小さくなるので、 $NH_4-N$  の減少分は、Y ( $\mu_{AUT} - 20\%$ ) の方が X ( $\mu_{AUT} + 20\%$ ) よりも小さくなる。このため、硝化反応が繰り返されるたびに X による  $NH_4-N$  の減少分は累積的に大きくなるが、Y による  $NH_4-N$  の減少分は X よりもゆっくりと大きくなる。よって、硝化反応が進行するに従い、X の累積的  $NH_4-N$  の減少量が、Y による減少分よりも大きくなる。このように、 $\mu_{AUT} - 20\%$  の場合は硝化反応に伴う  $NH_4-N$  の累積的減少が  $+20\%$  の場合よりも小さくなるので、下水中に残った  $NH_4-N$  の量は  $\mu_{AUT} - 20\%$  方が大きくなると考えられる。

2.2.2 循環率を変更した場合

Fig.2 に硝化液循環ポンプの循環率を 50% から 150% まで変更した場合の  $\mu_{AUT}$  の変更による最終好気槽の  $NO_3-N$  の変化を示す。図中に示す C, C', D, D' は、 $\mu_{AUT} 0\%$  で各循環率の計算結果を基準とし、 $\mu_{AUT} \pm 20\%$  ごとの  $NO_3-N$  の変化幅を表している。Fig.2 より以下のことが確認できる。

● 図中 C:D に関して

$\mu_{AUT}$  を 20% 増加させたことにより硝化が進み、 $NO_3-N$  が高くなっている。 $\mu_{AUT}$  増加による  $NO_3-N$  の変化幅は、循環率の高低に関わらずほぼ近い傾向にある。この理由は、循環率による影響が  $\mu_{AUT}$  と直接的な関連性がないからと考えられる。循環率を変更して硝化液の循環量を変更した場合、影響を受けるのは無酸素槽の脱窒反応である。循環率に合わせて脱窒反応が促進・抑制される。しかし、この脱窒反応には  $\mu_{AUT}$  は関与していない。このため、循環率を変更しても  $\mu_{AUT}$  による  $NO_3-N$  の変化幅は同じである。

また、 $NO_3-N$  に直接的な関連性のない  $\mu_{AUT}$  を増加減したにも関わらず  $NO_3-N$  の変化幅が存在するのは、以下の理由によると考えられる。好気槽に流入した  $NH_4-N$  が硝化により  $NO_3-N$  へと変換される。この反応に  $\mu_{AUT}$  が関連しており、 $\mu_{AUT}$  を高くした場合は  $NO_3-N$  が高くなる。

● 図中 C':D' に関して

$\mu_{AUT}$  を 20% 減少させたことにより硝化が抑えられ、 $NO_3-N$  が低くなっている。 $\mu_{AUT}$  低下による  $NO_3-N$  の変化幅が C' と D' でほとんど同じであるのは、上記「図中 C:D に関して」で述べた理由により、循環率の変更と  $\mu_{AUT}$  が関連していないからと考えられる。

● 図中 C:C' に関して

循環率が同一条件下で、 $\mu_{AUT}$  を  $\pm 20\%$  変更した結果、最終好気槽  $NO_3-N$  の変化幅が異なっている。この理由は、前期「図中 A:A' に関して」で述べた理由と同じで、 $\mu_{AUT}$  が低い場合は硝化に関連する反応速度式も低くなり、その結果  $\mu_{AUT}$  が高い場合に比べて生成される  $NO_3-N$  が少なくなり、変化幅が大きくなる、と考えられる。

2.3 考察

以上の結果、次のことが明らかとなった。

1  $NH_4-N$  に関して

a) SRT を固定とした場合

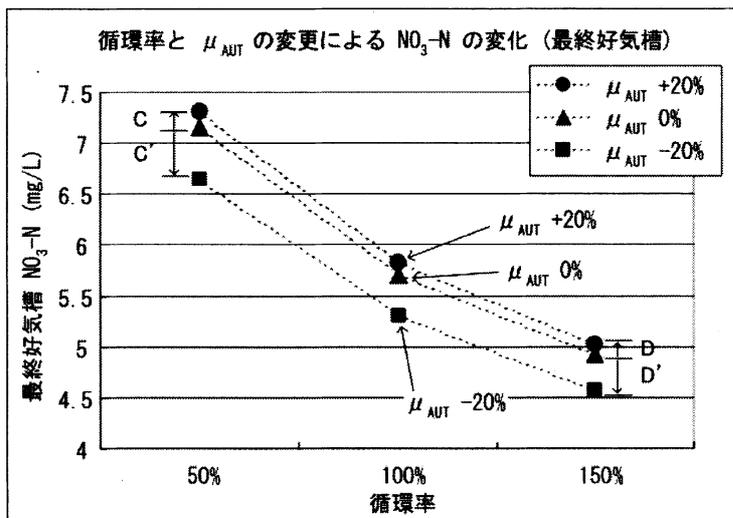


Fig. 2: 循環率と  $\mu_{AUT}$  の変更による  $NO_3-N$  の変化 (最終好気槽)

- $\mu_{AUT}$  を増加減させると、増加時の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化幅より減少時の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化幅が大きくなる。
- b)  $\mu_{AUT}$  を固定とした場合
- $\text{SRT}$  を増加減させると、増加時の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化幅がより減少時の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化幅が大きくなる。
- 2  $\text{NO}_3\text{-N}$  に関して
- a) 循環率を固定とした場合
- $\mu_{AUT}$  を増加減させると、増加時の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の変化幅より減少時の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の変化幅が大きくなる。
- b)  $\mu_{AUT}$  を固定とした場合
- 循環率を増加減させると、増加時の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の変化幅と減少時の  $\text{NO}_3\text{-N}$  の変化幅はほぼ近い値となる。

これらのことは、感度解析における2つの重要な注意点を示している。1つ目は、入力データであるポンプ運転条件にどの値を用いるかによって、異なる影響度を与えてしまうことである。例えば、 $\text{SRT}$  が短く  $\mu_{AUT}$  を減少した時に  $\text{NH}_4\text{-N}$  に対する感度が最も大きくなる。2つ目は、評価しようとしているパラメータと関連性のある水質への影響度を調べることで、有効な解析結果が得られることである。前記  $\text{NO}_3\text{-N}$  の例であれば、 $\mu_{AUT}$  ではなく  $\eta_{\text{NO}_3}$  を選択して評価すべきである。

これらを踏まえた上で、感度解析でポンプ運転条件を用いる場合、どのデータを用いるのが適切であり、パラメータに対してどの水質項目を評価対象とすべきか検討する必要がある。

### 3 まとめ

ポンプ運転条件である  $\text{SRT}$  と循環率を異なる条件に設定し、 $\mu_{AUT}$  を変更した場合の、最終好気槽の  $\text{NH}_4\text{-N}$  と  $\text{NO}_3\text{-N}$  を対象とした感度解析を比較検討した。その結果、 $\text{SRT}$  を変更すると汚泥の滞留時間と硝化菌の菌体数が変化するので、パラメータ  $\mu_{AUT}$  変更による  $\text{NH}_4\text{-N}$  への影響度は大きく変化することが明らかになった。例えば、 $\text{SRT}$  を短くすると  $\mu_{AUT}$  の変更による  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変化幅は大きくなる (影響度が大きくなる)。また、循環率を変更すると脱窒反応への影響はあるが、硝化反応への影響はないので、パラメータ  $\mu_{AUT}$  変更による硝化反応で生成される  $\text{NO}_3\text{-N}$  への影響度は、循環率により左右されることが明らかとなった。例えば、循環率を 50% もしくは 150% にしても、 $\mu_{AUT}$  の変更による  $\text{NO}_3\text{-N}$  の変化幅は変わらない (影響度は変わらない)。

このように、感度解析を行った結果に得られた傾向は、用いた入力条件によって影響度に差が生じる可能性が存在することが明らかとなった。故に、感度解析では、 $\mu_{AUT}$  に対しては  $\text{NH}_4\text{-N}$  を選択し、 $\eta_{\text{NO}_3}$  に対しては  $\text{NO}_3\text{-N}$  を選択するように、評価対象としたパラメータとそれに関連する水質項目に注意して感度解析を行う必要があると考える。

今回の報告では、パラメータとして  $\mu_{AUT}$  のみを選択し、結果の評価水質項目として最終好気槽の  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$  のみを観察して検討を行った。今後は、窒素に関連する他のパラメータやりんに関わるパラメータを選択し、パラメータの変更幅を変えるなど、更なる感度解析の検討を行う予定である。

### 参考文献

- [1] 徳永ら, 活性汚泥モデル No.2d におけるモデルパラメータの感度解析に関する考察, 第41回下水道研究発表会講演集, p.113-115 (2004)
- [2] M. Henze, et al. ACTIVATED SLUDGE MODEL NO.2d, Wat. Sci. Tech. 39,1,165-182