モデル化とシミュレーション*

中 嶋 光 敏

1. はじめに

内湾、湖沼などの閉鎖性水域において、富栄養化が進行している。諏訪湖、手賀沼、霞ヶ浦などでは、ほとんど毎年、らん藻ブルームが大発生している。

ここでは最近行った諏訪湖生態系のモデル化とシミュレーションを中心に説明したい。生態系のような複雑な対象を取り扱うさいに、そのモデル化は非常に役立つ。モデル化とは現象の数式化である（近藤，1976）。このモデル化は、工学研究においては、頻繁に使われる手法である。

2. モデル化

従来の多くの研究は、現場データおよび室内実験による基礎データの蓄積に重点がおかれている。モデル化の立場からは、2つの軸、プロセスの速度と環境因子である状態変数に分けて考える（表1，図1，Nishimura, 1976）。状態変数のレベルは、環境中で起こるプロセスにより決定される。また、系内で起こるそれぞれのプロセスの速度は状態変数のレベルに依存している。環境を数学的に解析するためには、これらプロセスと状態変数の関係式を知ればよい。1つは、物質収支式、もう1つは、速度式である。速度式は、実験条件をコントロールした室内実験により決定できる。この場合、現場との違いを常に考えておく必要がある。もう1つ、現場のデータを用いて状態変数の多変量解析により、速度式の決定を行うことができる。豊富な現場データと便利になったコンピューターにより、この種の数値計算は容易となった。また、収支式は、通常、微分方程式で表現される。この両者が十分な精度でわかっておれば、生態系のモデル化、シミュレーションは可能となり、現在不足している情報は何か、モデ

表1 主なプロセスと状態変数

	プ ロ セ ス	状 態 変 数
物理	移流，上下混合 拡散，溶出	温度
生物 化学	総生産 呼吸，分解， 脱窒	クロロフィル a リン酸態リン 無機態窒素 酸素，全炭酸

図1 モデル中のプロセスと状態変数の関係

ルの検証、環境アセスメントなどに役立つ。

3. シミュレーション

我々は諏訪湖生態系をモデル化して、シミュレーションを行って良好な結果を得ている（中嶋ら，1984）。諏訪湖は長野県に位置する富栄養湖である。平均水深4.6m、面積13.3km²と比較的小さいにもかかわらず、513km²と広い集水域と約18万の周辺人口を持つ。大小30の流入河川があり、釜口水門から天竜川へ流出する。湖内の滞留時間は40日程度である。毎夏、らん藻ブルームが発生する。ブルームのピーク時には、水の着色、着臭もひどく、観光資源としての価値も低い。この現状を回復するために、長野県、建設省は大規模な流域下水道の建設という政策を選んだ。その経費、期間を考えると、巨大な社会的実験といえる。流域下水道は1979年10月に供用開始され、1982年10月での処理水量は計画量の8%である。処理場排水は湖尻から天竜川へと排出されるため、窒素、リンの削減率は約30%になっている。すでに次のような変化が出始めている。1978年以前は、夏期にらん藻の大ブルームが見られたが、1979年以降は以前のような大規模、異常なブルームは見られない。生態系の回復過程が進行中である。1982年8月後半のらん藻ブルームでは従来と異なり、無機態窒素が制限因子でなくなり、リンのピークは見られない（倉沢ら，1983）。

我々が開発したモデルは湖水を上下2層、底泥を加

Mitsutoshi Nakajima

昭和51年 東京大学工学部化学工学科卒業

56年 九州大学工学部化学機械工学科助手
工学博士

〔趣味〕 草野球 テニス 誌上海外旅行

* Modelling and Simulation of Ecosystem, 昭和60年3月5日受理

THREE LAYER MODEL

図2 生態系モデル

えた3層構造である(図2)。特に重要と思われる11のプロセスを取り上げ、その速度式およびパラメーターの値を決定した。モデルの特徴は、底泥からの溶出、脱窒など底泥をめぐるプロセスをモデルに組み込み、底質の変化を取り扱った点、湖水の溶存酸素を変数に組み込んだ点にある。このモデルによるシミュレーション値は回復過程の実測値をよく再現できた(図3)。窒素循環への脱窒の役割の大きさが推定できた。さらに、窒素、リン削減に伴う影響予測を行い、夏のらん藻ブルームが軽減していく過程および窒素制限からリン制限に推移する生態系の変化を示すことができた(図4。50%負荷を削除した場合)。この変化の兆候はすでに30%負荷削除された1982年にあらわれている。この推移には、夏期の温度成層と大気中への酸素放散が重要な役割を果たしていることがわかった。この生態系モデルでは底質の変化を取り上げているが、その回復過程の追跡は今後の重要な課題と思われる。

もう1つの例として、沿岸底質汚染の回復を考える。製糸工場からの排出污水により、伊予三島、川之江海域には大量の汚泥が堆積し、問題となっていた。当海域では、1970年から1976年にかけて流入負荷の軽減に伴い、水質、底質はかなり改善され、1976年以降は負荷量はほぼ一定で、水質の変化は小さくなっている。底質のCOD濃度と流入負荷の値を用いて、1次反応モデルにより、当海域での底質の浄化係数を見積もることができた。図5にシミュレーション結果と実測値をしめす。浄化の時定数として、1~2年が推定できた。ただし、いわゆる自浄作用だけでなく沿岸の外への流出も含まれた値である。

4. 終わりに

モデル化とシミュレーションを中心に述べた。負荷削減に伴う水質のみならず底質の変化を追跡することは今後ますます必要になると思われる。最後にモデル中のプロセスと状態変数の2つの軸に新たに第三の軸として合田(1983)の提唱しているエントロピーをあげたい。これは不可逆過程の熱力学で最近脚光を浴びて

図3 1977年シミュレーション結果

図4 負荷を50%削減した場合のシミュレーション結果

図5 底質CODシミュレーション結果

いるPrigogine(1980)の散逸構造アプローチにもとづくものである。総合的な水質保全を考えていく際、今後研究されるべき大きなテーマと思われる。

参考文献

- Nishimura H. (1975) Proceedings of HESC. The Science Council of Japan. 362-374
- 倉沢ら(1983) 諏訪湖集水域生態系研究報告
- 合田(1983) 環境指標としてのエントロピー 水質汚濁研究
- 中嶋ら(1984) 回復期に向かう諏訪湖生態系のシミュレーション 閉鎖性水域に関わるデータとモデリングに関するシンポジウム 環境特別研究
- Prigogine (1980) From being to becoming. Freeman & Company
- 近藤(1976) 数学モデル 丸善

生物処理技術開発における課題と夢*

佐々木 正一

現在有機性排水の浄化方法の主流は、生物処理法であると言っても過言ではないと思われる。周知のように生物処理法は自然界の浄化作用を上手に利用した汚濁物質除去法であり、その特性から他の排水処理法に比べ安価に有機性排水の浄化を行うことができるとの評価を受けている。しかし、有機性排水の処理法として理想的であるかに見える生物処理法とて万能ではなく、いろいろな問題点を内包し宿命的とも言える適用範囲と処理限界が存在する。

技術の進歩は現在の否定から始まるとよく言われるが、水処理技術の進歩も例外ではなく、宿命的と言われている適用範囲を広げ処理限界に挑戦することに

よって生物処理法の世界が広がっていくのだと信じている。現在の生物処理の置かれている現状を正しく認識することは重要であり、現状に疑問を持つことによって新しい発見がなされていくと思う。

ここで生物処理法の代表である活性汚泥法に例をとってその適用範囲と処理限界とされている事項を挙げ、そこに潜む技術的課題を考えてみたい。

(1) 活性汚泥によって排水中の有機物が分解される過程において新たな有機物(バイオマス)が生産される。

微生物による排水処理といえども微生物の代謝機構を利用して物質転換を行っているのにすぎないわけであり、物質転換の結果排水中の有機物の一部が余剰汚泥となって排出される。余剰汚泥の処分が大きな問題であるのはご承知の通りである。この問題を解決するためには余剰汚泥が排出されなければ良いのであるが、現在のところなかなかうまくいかず、それに近い方法があったとしても今度は処理効率が低く、経済ベースにのらないというケースがほとんどであろう。最近、汚泥・し尿処理に利用されていた嫌気性処理が低濃度有機性排水の処理に使えないものかということで盛んに研究がなされている。嫌気性処理は周知のご

Shoichi Sasaki

昭和52年 早稲田大学教育学部理学科生物専修卒業

同年 オルガン株式会社

59年 同社研究開発推進部大船研究所生物処理研究室

〔趣味〕 テニス

* Problem and Dream in Biological Waste Water Treatment, 昭和60年3月5日受理