

水質シミュレーションモデル作成の手順について

Procedure for Construction of Water Quality Simulation Model

山本 務

Tsutomu YAMAMOTO

要 旨

近年、パソコンの普及で統計解析、数値計算などの複雑な計算も手軽にできるようになった。得られた結果の解釈には個人差を伴うものだが、それ以上に、使用するソフトウェアの選択、及び使用した基データの根拠がしっかりしていなければ信頼性の乏しいものとなる。今回、湖沼の富栄養化現象を把握・改善することを目的として流域で発生する汚濁負荷の流入、湖沼内での内部生産等の一連の過程をモデル化し数値解析(シミュレーションモデル等)により再現し、湖沼の水質改善を試みるまでの過程(手順)について、過去の事例を参考にしながら解説する。

キーワード： 富栄養化 数値解析 シミュレーション タンクモデル 光合成 制限因子

I はじめに

過去に、湖沼の富栄養化対策として、その現象をモデル化し数値解析等によって再現、効果的・経済的な水質保全対策の一助とする目的で、県下で二番目に大きい府中湖を例に水質の現況解析、将来予測を行ったが、作業を進めるうえでデータ不足など様々な問題が生じた。ここではこの事例を参照しながら、流域での汚濁負荷発生から湖沼水質の現況解析、将来予測に到るまでの作成手順を図1に示すスキームに沿って解説する。

II 方法及び結果

1 目的の決定

何を評価するかを決定する。この場合は、「富栄養化が進んでいる府中湖の水質保全・改善を目的とし、改善への効果的な対策を検討する」ことである。このため用いる手法としては現時点で最も信頼性があるといわれている数値解析法(シミュレーションモデル)とする。

2 計算対象エリアの決定

(1) 予測・評価項目及び年度を決定

富栄養化の指標項目を COD 濃度とし、現況解析(再現又は検証)年度を決定する。更に何年後を予測・評価するかを決める。現時点で具体的な評価年度が決まっていない場合は、モデル完成後、汚濁負荷の原単位などの入力データを種々変化させ水質改善の手がかりを模索しておく。

(2) 流域範囲の決定

流域範囲(集水面積)の決定は県統計資料などから調

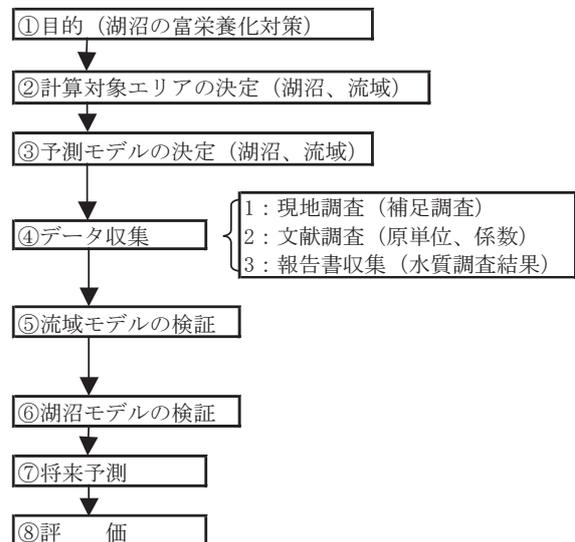


図1 解析手順

べるが、現地調査などで聞き取り調査をしていると、農業用水路の整備や導水などの人為的な水量の調整、あるいは流域内で発生した汚濁負荷物の系外への移動又その逆など、予想外のことがあるので流域決定には現状把握が不可欠である。

(3) 計算対象湖沼の決定

この場合、計算対象の湖沼は府中湖(評価地点:湖心)となるが、この流域には北条池と長柄ダムがあり、この扱いをどうするか経済的・社会的背景などを加味して決めなければならない。今回、北条池については魚の養殖をしていることから水質モデルを作成し、山間に位置する長柄ダムについては将来も土地利用の大幅な変更はないとしモデル化はしていない。府中湖周辺を図2、同流

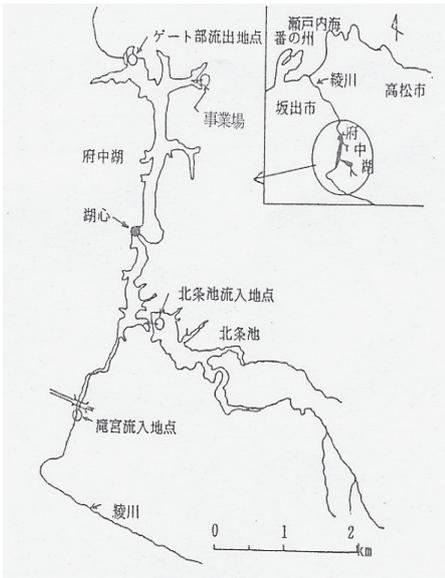


図2 府中湖周辺図

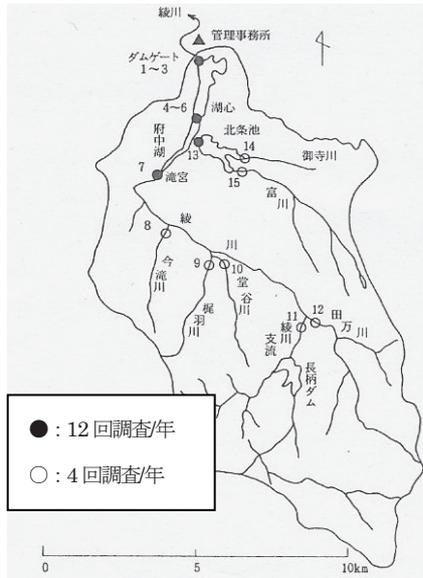


図3 府中湖流域図

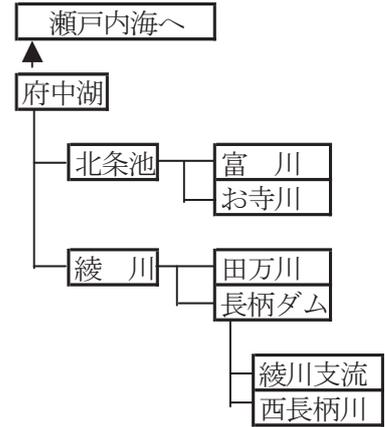


図4 府中湖流域模式図

域を調査地点も含め図3に、また府中湖及び同流域に関する諸元、水質結果などについては表1、表2、表3に示す。

3 予測モデルの決定

(1)流域部モデルの決定

ここでは流域で発生した汚濁負荷（発生源原単位を用いる）が対象湖沼（府中湖）に流入するまでの概念をモデル化し決定する。湖沼に流入する河川が1つの場合のモデル化は比較的簡単であるが、府中湖の場合内部生産を伴う北条池（お寺川、富川2つの流入河川を持つ）からの流入と綾川本流（その上流域で田万川と長柄ダムが合流している）からの流入などで複雑である（図4参照）。このため、将来の土地利用形態がどのように変化するか流域人口の動態、産業も含めモデル化をすすめなければならないが、あまり複雑にすると現地調査、データ収集などの他、モデル作成・その検証作業も大変となる。図5に汚濁負荷の流達過程の考え方を示すが最初からの作業とならざるべきことが多い。今回、汚濁負荷量モデルとしてLQ曲線法と汚濁負荷流出タンクモデルを選び、これらに使用する水量予測はタンクモデルとした。LQ曲線法とは、河川からの流入負荷量L（流入水量Q*汚濁濃度で求まる）と流入水量Qを現地調査し、指数型関数 $L = a * Q^b$ で表す方法である（図6）。この手法は流域の汚濁負荷量は常に一定であるとし降雨によりそれが流出すると考えるので、例えば土地利用形態が大きく変化した時などには用いられないが予測には便利である。また、水量Qがゼロ近くの時の負荷量Lがプラス側（下駄を履

表1 湖沼の諸元

諸元/湖沼	府中湖	北条池	長柄ダム
湛水面積(km ²)	1.21	0.38	0.36
湛水距離(m)	5400	-	-
有効貯水量(万t)	800	132	380
最大水深(m)	25.5	9	29
平均水深(m)	7	3.5	11.8
年間回転数(回/年)	7.7	10.7	5.6
流域人口(人)	21500	6200	690

表2 府中湖流域に関する諸元

区分/流域	北条池流域	綾川流域		計 (府中湖流域)
		綾川本流流域	長柄ダム流域	
土 水田	5.5	13.7	1.5	20.7
地 畑・転作	2	5.4	0.6	8
利 山林	6.5	33	26.3	65.8
用 市街地	6.1	16.4	4.3	26.8
計 (流域面積)	20.1	58.5	32.7	121.3

表3 湖沼等水質調査結果 (検証年度)

湖沼/河川	調査地点	COD	TN	TP	chl-a
富川	北条池流入点	6.6	2.4	0.23	0.007
お寺川	北条池流入点	13.2	3.3	0.45	0.019
北条池	府中湖流入点	10.8	2.5	0.16	0.038
長柄ダム	綾川合流地点	4.7	1.7	0.066	0.005
綾川	府中湖流入点	3.6	1.5	0.067	0.005
府中湖	湖心上層	8.0	1.7	0.068	0.028

いている) になっているのであれば、それは晴天時のLを表しており産業・生活排水など降雨に関係無く流出している量である。

一方、汚濁負荷流出タンクモデルは、水量予測に用いられるタンクモデルを発展させたものである。タンクモデルとは図7に示すように土地断面を直列のタンクに見立て、降雨によりタンク内の水が流出孔(R)から流出

し、タンク下部の孔 (G) からは次のタンクへ地下浸透するモデルである。土地利用形態によってタンクから流出・浸透する状況は異なる (市街地はコンクリート部が多いため地下浸透しにくい、山林はしやすい) ので異なる係数 (a,b) が必要となる。図8に示すとおり流域を表2を参照し4区分とした。この各タンク内に流域で発生した負荷 (原単位*基数などであらかじめ求めておく) を入れ降雨と共に流出させる手法が図9に示す汚濁負荷流出タンクモデルである。負荷の形態を点源由来と面源由来とに分け、前者は産業・生活排水など降雨に関係無く常に流出 (晴天時流出負荷) し、後者は肥料のように固体状となり降雨と共に掃流 (降雨時流出負荷) されると考える。また、タンク内では堆積物の固液平衡が成り立つとし、自己分解も考慮でき、自然界で繰り返される過程を比較的忠実に再現しているため土地利用形態の変化、産業立地などにも的確に対応できるモデルであるが、その構造からモデルの検証には時間と労力を要するのが欠点である。なお、肥料などの汚濁物質中のCOD, TN, TPはこのモデルで計算出来るがchl-aやDOはその性格上計算出来ないのでLQ曲線を用いることとなる。タンクモデルで使用する降雨データは流域内又は近傍のAMeDAS資料を用いるので入力データは1日毎となり計算結果 (再現結果) も1日毎となる。この計算結果をLQ曲線及び汚濁負荷流出タンクモデルに用いるので湖沼モデルで使用する汚濁負荷のデータもかなり感度の高いものとなる (初期の頃は月1回調査のデータを内分して用いていたため感度が悪かった)。表4に排出負荷形態の分類を、別表1には汚濁発生原単位の抜粋を示す。

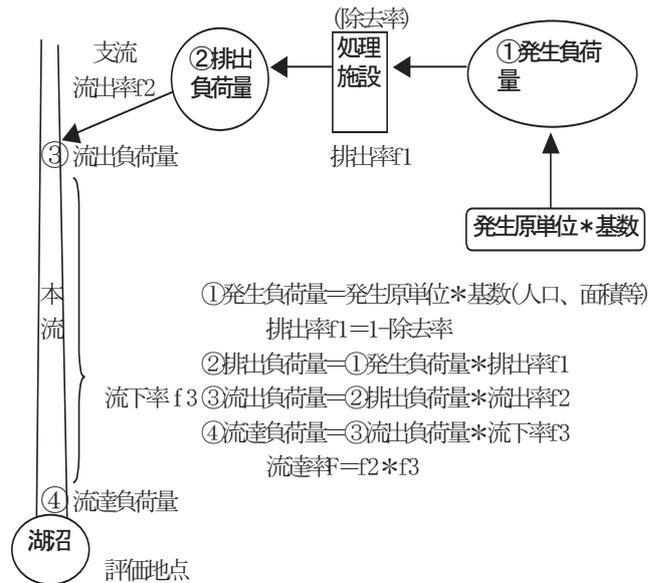


図5 汚濁負荷物質の流達図

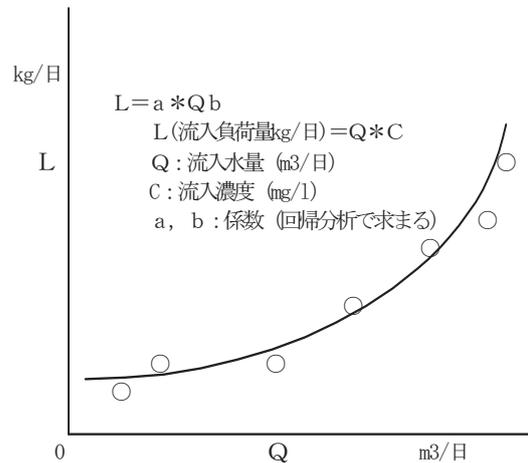


図6 LQ曲線図

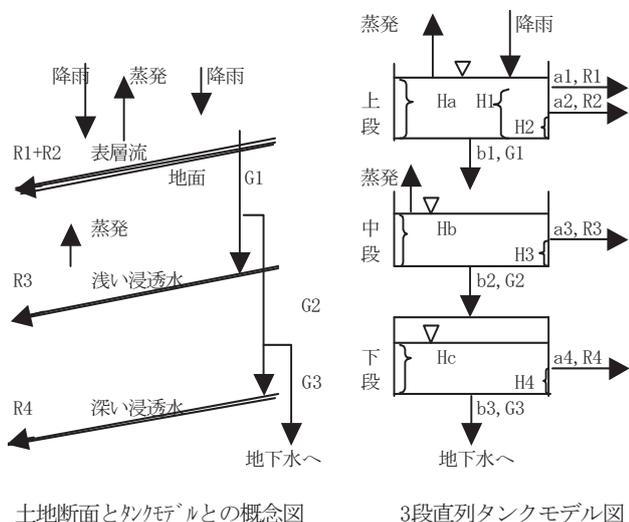


図7 タンクモデル概念図

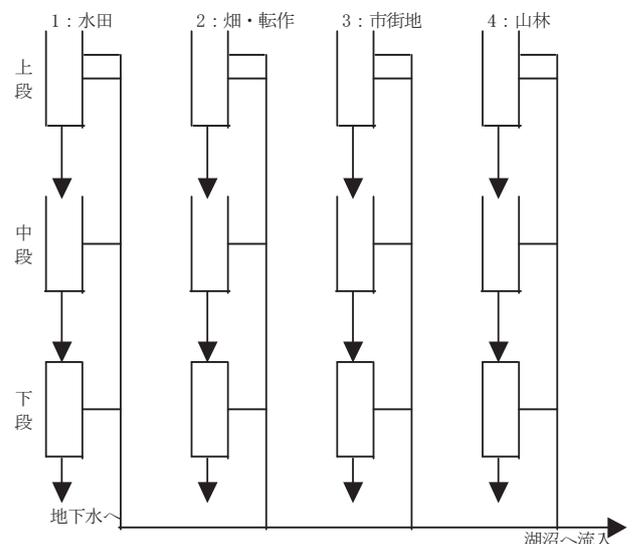


図8 タンクモデルと土地利用形態別図

(2)湖沼部モデルの決定

湖内で光合成による内部生産等 (N, P の栄養源を元にプランクトンが発生・枯死・沈降・溶出・流出) によるCOD などの汚染物質の消長の概念を決定する。湖沼のモデルについては大分すると定常モデルと非定常モデルとに分かれる。定常モデルは瞬間完全混合型であり別名 Box モデルともいわれ、長期的な評価に用いられる。一方、非定常モデルは時間と共に濃度が変化の様子を表現する手法で短期的な評価 (汚水の広がりなど拡散予測) に用いる。今回は長期評価 (年平均) が目的なので Box モデルを採用した。

流況モデル (Box の分割) について、府中湖は図 2 に示すとおり綾川をせき止めて造った細長い平地型ダム湖 (表 1 参照) であるので 3Box3 層型とした。評価地点の湖心は第 2Box に相当し、第 3Box はダム湖のゲート部で水深があることから垂直に上中下の 3 層としそれぞれの層から下流の綾川に放流されるとした。湖の貯水量は常に変化するので上 (2m) 中層 (2.5m) は一定とし、下層の水深を変化させて貯水量変動に対処した。北条池については平均水深 3.5m と浅いことから 1Box1 層型とした。府中湖の流況モデルは図 10 に示す。

次に、湖内の物質循環モデルは様々なものが開発されており、入手データ量・質 (調査頻度等) と検証時のパラメータ操作等の能力との兼ね合いとなる。ここでは、モデルとして①窒素・リンの形態変化、②COD の形態変化、③DO の循環に分け計算することとした。北条池については内部生産の寄与が大きいので、「無機溶存態」-「懸濁態 (chl-a)」-「デトリタス」の 3 態循環モデルとし、府中湖は「無機溶存態」-「懸濁態 (chl-a)」の 2 態とした。湖内では底泥との間で物質の沈降-溶出があるので底泥についても収支を計算した。値がプラスで蓄積、マイ

ナスで溶出が勝っていることになる。図 11 に 3 態の循環モデルを示す。

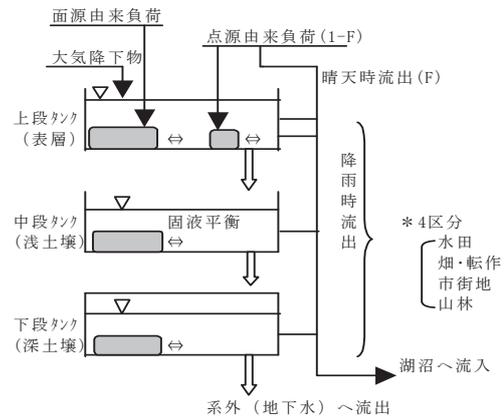


図9 汚濁負荷流出タンクモデルの概念図

表4 排出負荷形態による分類

	点源由来負荷	面源由来負荷
水田	肥料 (5%)	肥料 (9.5%) 自然性負荷 (大気降下物)
畑・転作	家畜汚水 (尿)	家畜汚物 (糞) 自然性負荷 (大気降下物、肥料)
山林	-	自然性負荷 (大気降下物、落葉)
市街地	家庭し尿 家庭雑排水 特定事業場 未規制事業場	自然性負荷 (大気降下物、その他)

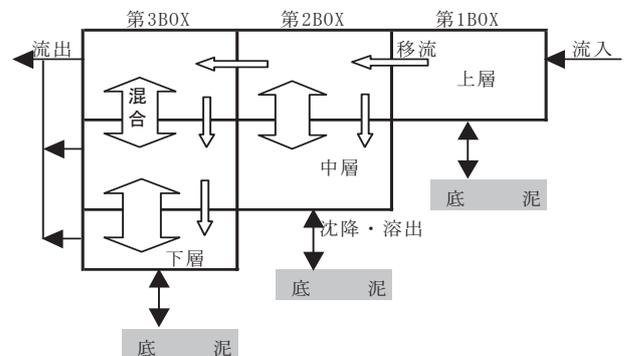


図10 府中湖流況モデル図

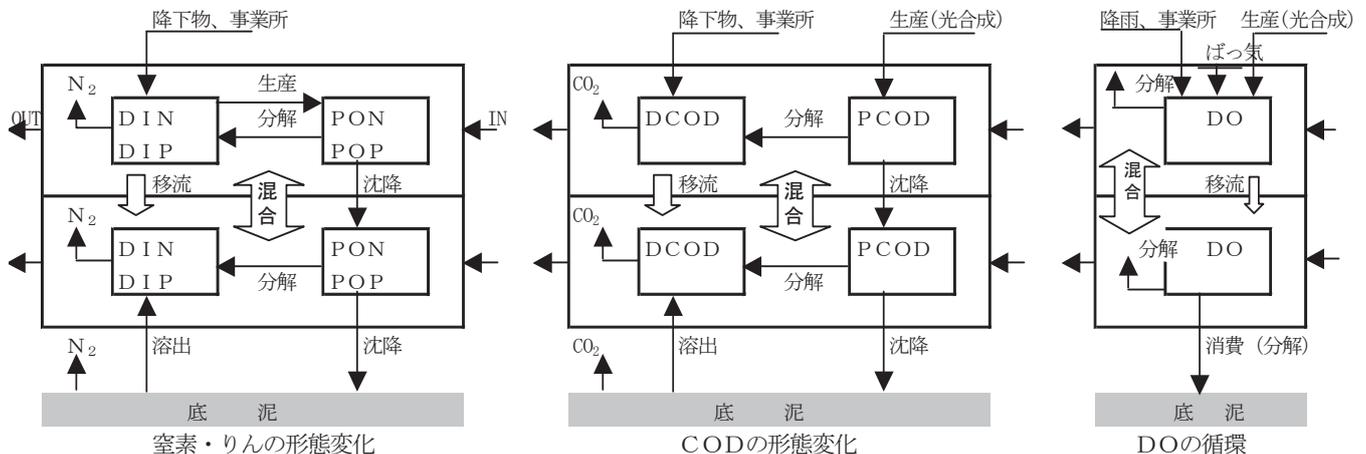


図11 府中湖物質循環モデル図

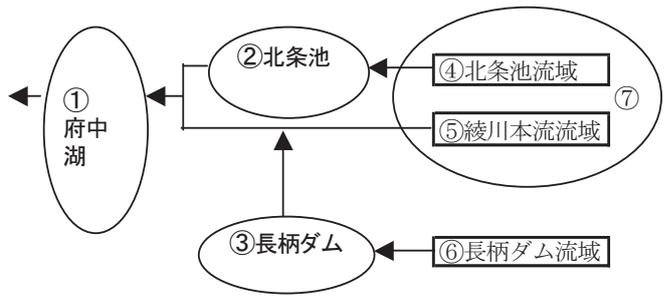
長柄ダムについては前記したとおり将来も水質等に变化がないものとしモデル化はしていないが、府中湖までの距離(10km)を考慮し現地調査等から流達率と流達時間差を求め使用した。以上、流域部と湖沼部について計算手法をまとめると図12となる。

4 データ収集

モデルが決まればそれに必要なパラメータ等の文献・資料収集と現地調査及び溶出試験等の室内実験が必要となる。この事例では検証年度の前2カ年のデータも収集し、不足データは検証年度で補足調査を行った。

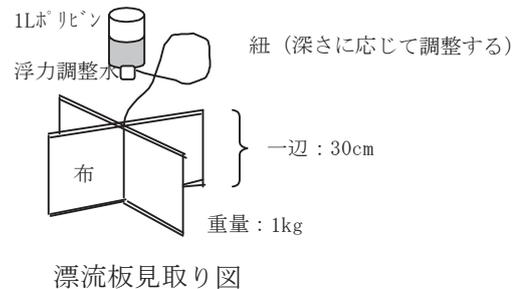
(1)現地調査(補足調査)

府中湖及びその流域に関するデータは地域性の高いデータであるので文献等では見つからないため調査及び実験が不可欠となる。検証年度で実施した調査は以下のとおりである。①府中湖内の水質調査(複数地点の表層、中層等で項目はCOD, 窒素・りん各態, chl-a, DO, し尿汚染把握のための塩素イオン等)。②府中湖へ流入する河川・湖沼水質調査(LQ曲線で用いるa,bの係数を算出する。主要地点は年12回, 支流は年4回調査で, 項目は上記の他に流量が加わる。a,bの係数は河川毎に異なるのでその特性を表す指標ともなる。)。③府中湖移流調査(流況モデルで使用する。湖心から500mほど下流で流れに乱流が無い地点で1回実施した。漂流板は8個を使用し, 高さ設定は水深9mに対し, 1m(3個), 4m(3個), 7m(2個)である。模式図を図13に示す。小型ボート2隻を用い7月の風の無い早朝に実施した)。④府中湖底質調査(流れ方向に湖内6地点で実施。項目はCOD, TN, TP, IL, 湖底直上水温等)。⑤府中湖溶出調査(採取底質を持ち帰り500ml広口ビンに生泥200gとろ過した直上水250mlを入れ(1地点で6本調製)密閉後15°Cで静置, 実験開始日, 1, 2, 3, 5, 7日後に, COD, 溶存態の窒素・りん, DO, Ehを分析した。地点によってはNH₄-Nが2日目から一定値を示すなど溶出が盛んであることが分かった)。⑥府中湖水温鉛直分布調査(湖沼モデルで用いる上下Box間での鉛直混合係数を調べるため, 成層, 躍層の発達状況を湖内3地点で夏と冬に実施。項目は水温, 濁度, SS等)。⑦大気降下物調査(府中湖近傍にダストジャーを設置し, 降下物中の降水量, COD, TN, TPを毎月調査した。結果よりCOD: 0.24g/m²/月, TN: 0.092g/m²/月, TP: 0.002g/m²/月と求まっている。なお, ダストジャー内部で藻が発生するのを防ぐため0.01M-CuSO₄溶液50mlを加えることが



区分/方法	計算手法	計算対象項目
湖沼	① 3Box3層物質循環モデル	COD等の水質
	② 1Box1層物質循環モデル	
	③ 現況データに流達率、時間差を適用	
流域	④ LQ曲線	COD等の流出負荷量
	⑤ COD, TN, TP汚濁負荷流出タンクモデル chl-a, DO/LQ曲線	
	⑥ 現況データを用いる	
その他	⑦ 3段直列区分タンクモデル (LQ曲線、汚濁負荷流出モデルを用いる)	流出水量

図12 府中湖関係解析手法図



漂流板見取り図

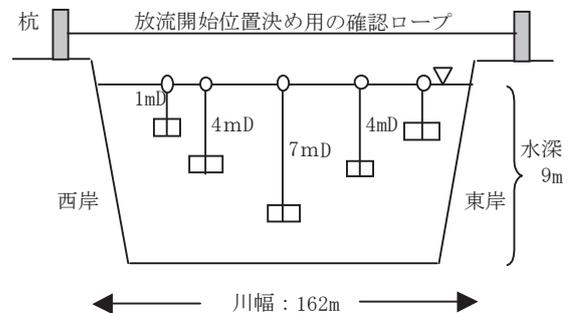


図13 府中湖流況調査図

大切)。この他の補足調査としては変換率(chl-a中のCOD, TN, TPの占める重量割合)を実験で求め現況モデルで使用した。Chl-a中のCOD, TN, TPは各0.55, 0.03, 0.01(%)である。なお, 沈降速度, 分解速度, 生産速度(光合成)等については時間不足で調査できていない。

(2)文献調査

タンクモデル, 汚濁負荷流出タンクモデル, 原単位(別表1), 更に湖沼モデルで用いるパラメータ等について調査する。本来パラメータについても実験により求めるのが好ましいがかなりの部分は全国共通に使えるものが多

いため文献値に頼ってしまうのが実情である。ただ文献によっては同じようなパラメータでもかなりの幅があるので、今回と同程度の湖沼モデルから複数個のパラメータを選び出しその範囲の中で変更し検証するのが良いとされている。また、パラメータの使い方についても文献によって微妙に異なるので要はパラメータ一覧表のみを見るのではなく論文全体を読み理解することが要求される。最近インターネットなど検索も簡単になったので更に便利になっている。なお、今回の各モデルで使用したパラメータは全て文献の中で記載しているので興味があれば参照してもらいたい。

(3) 報告書収集 (水質調査結果)

モデル作成・検証に必要な諸々の情報 (湖沼・流域の諸元、水量、水質あるいはその歴史等) も独自性が高いので不可欠であるし我々が現地調査できない項目も多い。例えば、気象台発行の気象月年報、国県市発行の統計年報、河川・溜池の水質調査結果集、土地改良区発行の資料、ダム管理事務所の管理月年報等である。幸い筆者の場合は資料を入手し易い立場であったので比較的苦労は少なかったが、それでも環境分野のみならず農業、土木、産業、気象の各分野の協力もいただいた。

表6 LQ曲線の係数 (抜粋) 資料: 検証年度

河川	項目	n	a	b	r
富川 (北条池 流入地点)	COD	4	5.5	1.06	0.97
	TN	4	0.49	1.53	0.98
	TP	4	0.23	0.94	0.77
	chl-a	4	0.003	1.31	0.99
	DO	4	16.27	0.78	0.98
綾川(府中湖 流入地点)	chl-a	13	0.017	0.62	0.77
	DO	13	10.38	0.96	0.99

注) n: 調査回数 r: 相関係数

5 流域モデルの検証

モデルの決定、データ収集が完了すれば次は各モデルの検証作業となる。

(1) タンクモデルによる流入水量の検証

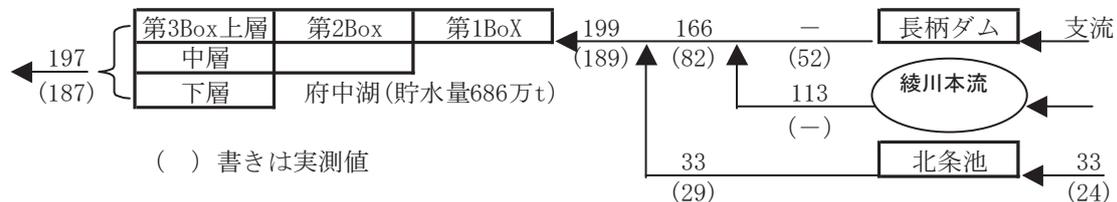
府中湖に流入する水量を計算で求める。入力データは流域周辺の3個所の AMeDAS 降水量資料 (1日毎)、モデルは3段直列4区分タンクモデル、検証データは府中湖流入地点 (ダム管理事務所調査の実測値) のデータである。検証には、①どこの地点の AMeDAS データを用いるか、②計算ステップの選択 (差分化による計算誤差を少なくすると共に府中湖流入までの時間差にも関与する)、そして③パラメータの変更等が必要となる。タンクモデルのパラメータは実測不可能なものがほとんどであ

表5 タンクモデルによる府中湖流入水量計算等結果 n=1096

年	種別	水量	単位	max	mean	min	全降水量に対する流入割合(%)*	
3年間	実測	降水量 AMeDAS	mm/日	208	2.8	0	-	
		流入水量	10 ³ t/日	12,594	158	15	46	
平均	計算値	流入水量	10 ³ t/日	10,016	172	30	51	蒸発割合(%)
		地下浸透水量	10 ³ t/日	90	59	37	17	32(100-51-17)

注) 全降水量は流域面積*年間降水量から求まる。

1: 流入出水量結果 (*10³t/日)



() 書きは実測値

2: COD結果 (mg/l)

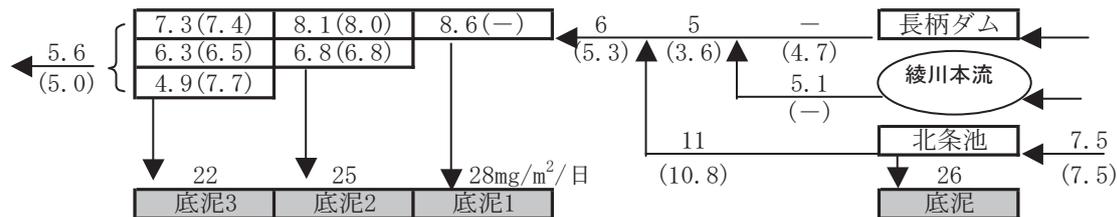


図14 府中湖関係計算結果 (検証年度)

るため文献値に頼ることとなるが、香川県の場合雨が少なく水を大切にすることがあることから上段タンクの流出孔高さ H1, H2 を少し高くし少しの雨では水が流出しないように設定した。検証結果については地下浸透水量の結果を含め3年間の平均として表5に示す。計算結果から全降水量のうち51%が府中湖へ、17%が地下へ流出し、残りの32%は蒸発等で利用されていないことがわかる。タンクモデルで計算された結果を綾川本流流域と北条池流域の面積比で分け LQ 曲線、汚濁負荷流出タンクモデルに使用する。参考までにタンクモデルの基礎式及び差分化による計算方法、蒸発量に関する式を別表2に示す。

(2)L Q 曲線による流入負荷量調査結果

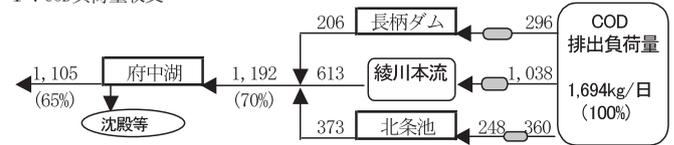
湖沼に流入する河川の汚濁濃度、流速、河川断面積等を複数回調査し最小二乗法により係数 a, b を求め、上記タンクモデルで計算した水量 Q で流入負荷量 L を求める。係数 a, b については抜粋して表6に示す。係数 b は降雨の増大と共にその土地に含まれている汚濁物質を掃流するため $b > 1$ となるのが一般的であるが $ch\text{-}I\text{-}a$, DO のような反応を伴う場合は別の解釈が必要となる。また、流量が LQ 曲線作成時の流量より大きくなると流入負荷量を外挿することになり精度が下がることも要注意点である。

(3)汚濁負荷流出タンクモデルによる流入負荷量の検証

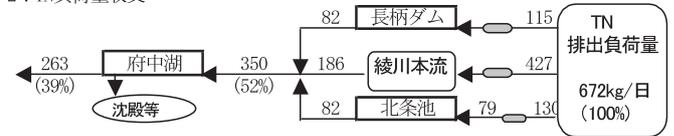
別表1の原単位に流域内の基数を掛合わせ発生負荷量(点源, 面源別の COD, TN, TP (表4 参照))を求め、これとタンクモデルで計算した水量を用い汚濁負荷流出タンクモデルで流出させ府中湖流入負荷量を計算する。 $ch\text{-}I\text{-}a$, DO は上記したように LQ 曲線法を用いる。ここでの問題点は2点ある。一つは原単位と基数の把握作業である。細かく調査すればその分正確にはなるがこれには際限がなく、結局時間がその終焉を決めることとなる。もう一つはモデルの検証作業が大変なことである。パラメータ数が多いため最初は文献値を用いて計算してから実測値に合うように変更する。なお、このモデルで大切なことはタンク内の汚濁負荷量の初期値が不明であるのでタンク内の負荷量が安定するまで計算を繰り返すことである。ここでは3年間で2回計算(1096日*2)させた値を初期値として用いた。

LQ 曲線法及び本モデルそれと長柄ダム(実測値に流達率適用)からの府中湖流入負荷量(濃度)計算結果については次節で一括して示す。

1: COD負荷量収支



2: TN負荷量収支



3: TP負荷量収支

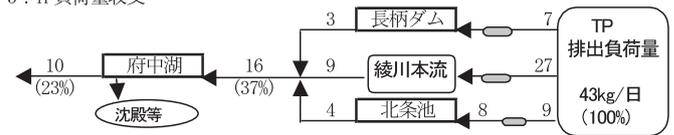


図15 府中湖関係負荷量収支計算結果(検証年度)

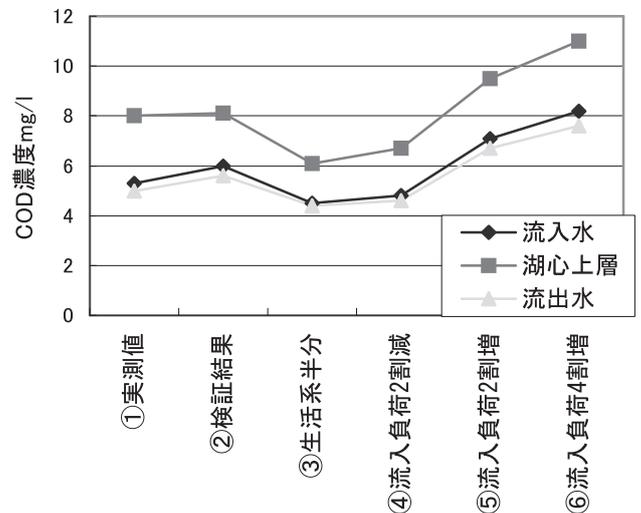


図16 流入負荷量の増減による府中湖の応答例

6 湖沼モデルの検証

流域モデルで計算した流入負荷量を用い湖沼の水質を計算・検証する。ここでは府中湖と北条池2つのモデルを用いた。物質収支の計算はタンクモデル同様差分化により行い計算ステップは検討の結果8時間とした。また初期値の影響は検証年度の2年前からスタートすれば問題無かった。湖沼モデルも移流、混合、沈降速度等多くのパラメータを使用しその多くは実測可能であるが、最終的には検証の中で調整する必要がある。パラメータの一例として府中湖内の COD 内部生産に関するパラメータを別表3に示す。検証結果については上節の流入負荷量計算結果も含め実測値と併記して水量と COD 濃度結果を図14に、また図15には流域の COD, TN, TP について排出負荷量(発生負荷量*排出率)の流出過程での収支結果を示す。図14から実測値は年12回程度の平均値であるのに対し計算値は365日の平均なので単純に比

較は難しいが、評価項目の湖心（上層）COD は実測値 8.0mg/l に対し 8.1mg/l とほぼ再現できたと考える。その他の Box 及び今回紙面の都合で割愛したが TN, TP, DO の結果についても良好な結果が得られている。底泥への収支については 3 物質とも蓄積している結果となり、府中湖は人工の巨大な沈殿槽といえ瀬戸内海の水質保全に一役を担っている。図 15 については図 14 の濃度を負荷量に変換したものであるが、流域の排出負荷が様々な過程を経て流下している様子が把握できる。北条池の COD と TN の収支が逆転しているのは内部生産の他、淡水魚養殖の餌（鯉 1t を生産した時に発生する負荷 COD : 134kg, TN : 43kg, TP : 7.8kg の原単位）を加えているためである。

7 検証モデルを用いた将来予測及び評価

再現年度で検証された流域モデルと湖沼モデルを用いて評価年度を予測することになる。評価年度が未定の場合は、流入負荷等を色々操作することによって現実には不可能なこと（例えば、日射量の削減、底泥の除去等）も含め予測でき、経済性も加味した水質改善の評価が可能となる。予測手段の組み合わせは時間が有れば無限に可能あるが、ここでは数例について予測結果を図 16 に示す。計算方法について、発生負荷量の基数を操作する時は汚濁負荷流出タンクモデルからの計算となり、北条池系を操作する時は同池をシミュレートした結果を用いることとなり結構手間がかかる。図 16 で流入水とは府中湖への流入水、湖心上層は府中湖の評価地点、放流水は府中湖第 3Box からの流出水（放流水）を示し、横軸の①は検証年度の COD 実測値、②は検証結果値、③は生活系原単位（浄化槽、自家処理、汲み取り）の排出率を現状の半分にした場合、④は府中湖流入負荷量を単純に現状の 2 割削減の場合、⑤と⑥は同負荷量を逆に 2 割、4 割増加した場合の予測結果である。この結果から水質改善はかなり厳しいものが想定される。なお、府中湖の制限因子についてはここには示していないが流入 DIN 削減では内部生産はほとんど抑制されないが同 DIP 削減ではかなりの効果がある結果となり、りん制限の湖沼といえる。

III 考察

現地調査、文献調査等データ収集には困難を伴うものもあるので必要な情報とそうでない情報の取捨は常にフィードバックさせながら検討すべきであろう。ここでは

モデル作成後の検証作業中に行われる感度分析について述べる。シミュレーションモデルは一般にパラメータ・変数が多く複雑になりがちである。将来像も見据え可能な限り少ない因子で現象を再現できればいいので、タンクモデルであれば土地利用区分の減少化、3 段直列タンクの 2 段化、負荷流出モデルでは用いる原単位の省略化、湖沼モデルでは、例えば湖内直接の大气降水物の削除等、なるべく身軽にすれば後々使い易くなる。今回の例でも感度検証の結果、土地利用区分の削減（5 区分から 4 区分へ）、生産速度のスペース効果因子等を削除した。

IV まとめ

パソコンの普及で膨大な計算も簡単に出来るようになって久しいが、計算結果の最終評価まではしないため人的介在は不可欠である。プログラミングもインタプリタ型 BASIC に替わって表計算ソフトウェアを用いるとさらに高速で簡便となろう。

このペーパーは過去 5 年間に渡って現地調査・プログラミングの作業を行い当研究センター所報に記載した内容を総括的にまとめたものである。内容的には古いものもあるが基本的な考え方は今も変わらないと考える。最近では水質のみならず大気中のダイオキシン類の挙動予測等応用範囲も広がってきている。このペーパーが何らかの役に立てば幸いである。用いた文献は膨大な量になるので主だったものに止める。

文献

- 1) 田中秀穂, 望月京司: 溜池の水質シミュレーションモデル, 大阪府公害監視センター所報, 8, 103-114 (1985)
- 2) 山本務, 藤田淳二, 多田薫: 水質シミュレーションモデルに関する研究 (I), 香川県公害研究センター所報, 11, 29-42 (1986)
- 3) 山本務, 藤田淳二, 浮田和也: 水質シミュレーションモデルに関する研究 (II), 香川県公害研究センター所報, 12, 29-36 (1987)
- 4) 山本務, 藤田淳二, 冠野禎男: 水質シミュレーションモデルに関する研究 (III), 香川県公害研究センター所報, 12, 37-49 (1987)
- 5) 中西弘, 浮田正夫, 関根雅彦: 昭和 62 年度厚東川水系水質保全対策協議会調査研究成果報告書, 山口大学工学部 (1987)

- 6) 山本務, 浮田和也, 中野智: 水質シミュレーションモデルに関する研究 (IV), 香川県公害研究センター所報, 13, 11-22 (1988)
- 7) 国松孝男: 河川汚濁のモデル解析, 技法堂 (1989)
- 8) 山本務, 三好健治, 浮田和也: 水質シミュレーションモデルに関する研究 (V), 香川県公害研究センター所報, 14, 11-21 (1989)
- 9) 久保正弘, 冠野禎男, 山本務: 水質シミュレーションモデルに関する研究 (VI), 香川県公害研究センター所報, 14, 23-33 (1989)
- 10) 国立公害研究所: 第2回富栄養化問題シンポジウム(モデルと評価) (B-18- '81) (1981)
- 11) 久保正弘, 冠野禎男, 山本務: 水質シミュレーションモデルに関する研究 (VII), 香川県環境研究センター所報, 15, 13-19 (1990)
- 12) 山本務: 府中湖水質調査結果 (昭和62年度), 香川県環境研究センター所報, 15, 73-83 (1990)
- 13) 藤田健一, 李寅鉄, 楠田哲也: 水・底質相互作用モデルによる博多湾のリン循環の数値予測, 水環境学会, 24, 1, 48-57 (2001)

別表1 汚濁発生源分類及び原単位 (抜粋)

大分類	中分類	小分類	原単位			単位	排出率 f 1		
			COD	TN	TP		COD	TN	TP
産業系	特定事業場50t以上	個々の事業場	現地調査結果を使用する			kg/日	1	1	1
	特定事業場50t未満	畜産食料品製造業	374	67	12.3	g/t	1	1	1
		めん類製造業	500	50	30.7	g/t	1	1	1
		自動車両洗浄施設	83	11	5.1	g/t	1	1	1
	未規制事業場	飲食・喫茶店	13	2	0.62	g/人/日	1	1	1
		病院	84	13	3.9	g/床/日	1	1	1
給食センター		0.8	0.1	0.04	g/食/日	1	1	1	
生活系	合併浄化槽500人以下	-	29	12	1.2	g/人/日	0.4	0.6	0.7
	自家処理	し尿	10	9	0.8	g/人/日	0	0	0
		雑排水	19	3	0.4	g/人/日	1	1	1
畜産系	牛	-	530	180	25	g/頭/日	0.04	0.25	0.03
	豚	-	130	32	13	g/頭/日	0.04	0.25	0.03
土地系	水田	大気降下物	7	1	0.05	kg/km2/日	1	1	1
		肥料	65	7.4	3.2	t/km2/年	0.03	0.2	0.03
	市街地	大気降下物・その他	8	3	0.06	kg/km2/日	1	1	1

注) 水田の肥料は5月:0.2 6月:0.5 7月:0.1 8月:0.15 9月:0.05 (計1) に分配する。

別表3 湖沼の生産速度に関するパラメータ

PH: 生産速度(/日) (生産は上層のみとする)

$$PH = KK * FM * FI * FT$$

KK (生産速度定数) = 4

$$FM (N, P \text{ の関数}) = \frac{DIN}{KN + DIN} * \frac{DIP}{KP + DIP}$$

DIN, DIP (溶存無機態 N, P) = 実測値

$$KN (N \text{ の Michaelis 定数}) = 0.1 \quad KP (P \text{ の Michaelis 定数}) = 0.02$$

$$FI (日射に関する関数) = \frac{SR * (1 - \exp(-EZ))}{365/EZ}$$

SR (日射量) = 実測値 $EZ = 1.9/VI * HU$ $VI = \text{透明度}$ $HU (上層水深) = 2m$

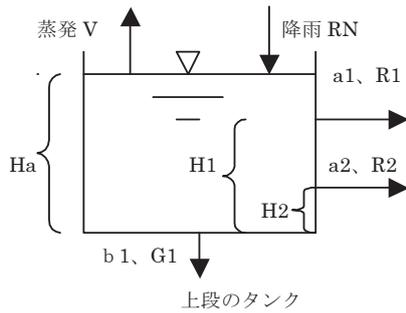
$$FT (水温の関数) = (TU/TS * \exp(1 - TU/TS))^{RUT}$$

TU = 上層水温 $TS = 27$ $RUT = 1$

(注) FM の項は、湖沼での光合成の人為的な制限因子 (具体的には肥料使用量の制約因子) となる。

別表2 タンクモデルの基礎式及び差分化による計算方法

1: 基礎式 (上段のタンクモデルで説明する)



上段タンクから府中湖への流入量 Q を求める。

$$R1 = a1 * FFU * (Ha - H1) \quad ①$$

$$R2 = a2 * FFU * (Ha - H2) \quad ②$$

$$G1 = b1 * Ha \quad ③ \text{ から}$$

$$Q = S * (R1 + R2) \quad (\text{m}^3/\text{日}) \quad ④ \text{ と求まる。ここで、明日の } Q \text{ を求めるためには、}$$

明日の $Ha(t+1)$ を求める必要がある。 Ha の変化量は次式で表される。

$$dHa/dt = RN * FR - V * FVU - R1 - R2 - G1 \quad ⑤$$

ここで $dHa/dt = \Delta Ha / \Delta t$ とし、 $\Delta t = 1$ 日とすると、 $dHa/dt = \Delta Ha$ ⑥となる。

よって、1日の変化量 ΔHa は、⑤と⑥から $\Delta Ha = RN * FR - V * FVU - R1 - R2 - G1$ ⑦

次に、差分化により1日後の水位 $Ha(t+1)$ は

$$Ha(t+1) = Ha(t) + \Delta Ha \quad ⑧ \text{ この式を連続的に計算して } Ha \text{ を求めるが、これでは計算精度が}$$

かなり粗くなるので、計算ステップの概念を取り入れ、⑧式を以下の式として使用する。

$$Ha(t + STP/24 * n) = Ha(t + STP/24 * (n-1)) + \Delta Ha * STP/24 \quad ⑨$$

STP = 計算スパン (時間) $n = 24/STP$ (1日の計算回数)

2: 蒸発量 V(mm/日)の計算 Thornthwaito の式

$$V = Ed * FT \quad \text{ただし、} Ed = 0.5 * (10 * T/I)^a \quad FT = 1 \quad (\text{文献値})$$

$$a = (0.675 * I^3 - 77.1 * I^2 + 17.92 * I + 492.39) * 10^{-6}$$

$$I = \sum (T/5)^{1.514} \quad T: \text{月の平均気温 } (^{\circ}\text{C})$$

V: 蒸発量(mm/日)	計算で 0.1~4.3mm/日
FVU: 蒸発率(-)	0.5 下段=0
RN: 降雨量(mm/日)	AMeDAS 滝宮
FR: 降雨有効降下率(-)	0.85
Ha: 貯留高(mm)	計算値
H1, H2: 流出孔高さ(mm)	H1=55、H2=30
R1, R2: 流出高(mm/日)	計算値
G1: 浸透高(mm/日)	計算値
a1, a2: 流出係数(/日)	a1=0.6, a2=0.3
b1: 浸透係数(/日)	0.15
FFU: 河川有効流出率(-)	1
S: 集水面積(km ²)	例: 水田=20.7
Q: 府中湖への流入量(m ³ /日)	計算値

Abstract

Recently, with the spread of personal computers, it has become possible to do complex calculations like statistical analyses and numerical analyses, etc. with ease. While the interpretation of obtained results differs among individuals, the reliability of those results becomes suspect if the choice of software used or the source of the group data is not understood with certainty.

Now, with the understanding and improvement of eutrophication in lakes in mind, we seek to explain, while citing past examples for reference, the processes for improving the water quality of lakes. We will recreate the influx of pollution loads into river beds and the successive processes of plankton growth in lakes through computer modeling and numerical analysis (simulation models, etc.).