

(5) 流域からの汚濁負荷流出量の管理を
目的としたエキスパートシステムの
開発

DESIGN OF AN EXPERT SYSTEM FOR THE BASIN-WIDE MANAGEMENT OF
POLLUTANT RUN-OFF

岡田光正*、 片岡憲仁*、 村上昭彦*
Mitumasa OKADA*, Norihito KATAOKA*, Akihiko MURAKAMI*

ABSTRACT; Based on state of the art for the estimation of pollutant run-off from a whole basin of a closed water bodies, a design scheme for the computer-aided system for the basin-wide management of pollutant run-off was presented. The analysis of the problems associated with the conventional ways of estimation for total pollutant run-off clarified a urgent needs for the introduction of computer-aided system to satisfy the accuracy and consistency during calculation, to estimate undetermined loading and export coefficients and to propose control plans explicitly for public. The system which satisfies these requirements was designed as a man-machine communication system on personal computer to promote applications to the management of small closed water bodies where professional personnel are not available.

KEY WORDS; pollutant run-off, man-machine system, closed water bodies, basin-wide management,

1. はじめに

湖沼、河川、海域等の水質汚濁を防止するため、下水、工場排水等、大規模な点的汚濁源の対策が重点的に進められてきた。これは有機汚濁の防止という面では一応の成果を挙げたといえよう。しかし、大規模汚濁源対策が進行するにつれ、山林、農地のような面的汚濁源や畜産排水、小規模集落の生活（雑）排水のような小規模汚濁源の全汚濁負荷に占める割合が相対的に増加した。

一方、湖沼、内湾等の閉鎖性水域においては、その富栄養化が顕在化し、有機汚濁物質による一次的な汚濁負荷のみならず、窒素、リンによる二次的な汚濁負荷（内部生産COD）もその汚濁原因となっていることが明らかになってきた。この場合、排水がほとんど流入しないにもかかわらず富栄養化が進行した水域もあり、窒素、リンの自然（森林、降水等）負荷も無視できない。したがって、閉鎖性水域の水質汚濁を防止する場合、有機物のみならず窒素、リンをも対象とし、かつ点的汚濁源とともに面的汚濁源をも含めた流域内全体からの汚濁負荷発生量とその流出量の削減対策を検討する必要性が生じてきた。

閉鎖性水域の水質予測モデルについては、既に多くの検討が加えられてきた。しかしながら、その多くは流入河川等の水量、水質測定値を既知として開発されており、流域内の汚濁負荷発生量やその流出量はモデル化の直接の対象としていない。このため、具体的な負荷削減対策と対応する将来水質とを総合的に検討することが困難であった。

このような観点から、演者らの研究グループは、集水域（流域）と受水域（湖沼）の両者を統一的に把握

*東京農工大学工学部化学工学科 Department of Chemical Engineering, Tokyo University of
Agriculture and Technology

し、集水域の社会経済活動も含めた全水系を対象とする湖沼水質管理システムの開発を試みている。ここでは、集水域を対象とする汚濁負荷流出モデルを中心に、システム構成の基礎となった問題認識、ならびにシステム構成、機能の概要について紹介したい。

2. 流域からの汚濁負荷流出量推定の問題点

2.1 方法論

現在、湖沼に流入する全汚濁負荷量の算定方法は必ずしも統一されていない。汚濁の発生源ならびにその排出、流出、流達等の諸概念は、文献（湖沼）毎に多少異なる定義が行なわれている。このため、ある流域に対し、どのように流出、流達等の概念をあてはめるか、必ずしも容易に判断できない。また、排出、流達などの概念は、基本的には自浄作用、もしくは自然浄化作用として既にかんがりの研究成果が蓄積されている分野である。しかし、自浄作用には不可欠の概念である流下距離は、多くの場合、明確に考慮されておらず、現実には無視している場合がほとんどである。

2.2 積算作業

流域内の社会経済活動が多岐にわたる場合、汚濁負荷源や排出の形態は数多く、複雑となる。このため、流域内の全汚濁負荷発生量ならびに流出量の積算は複雑な作業となり、従来の手作業では、次のような積算ミス、不統一が生ずるとともに、多大な作業時間を要することが多い。また、負荷の発生や流出構造の把握も困難となり、様々な負荷削減対策に対応する負荷量変化の積算に長時間を要する。

(A) 積算ミス／不統一

計算上の単純な誤りのみならず、ある汚濁負荷源を積算しなかったり、逆に1つの負荷源を二重に積算する等の誤りが起こりやすい。また、単位系（ex. $\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ と $\text{kg m}^{-2} \text{y}^{-1}$ ）を混同する危険性がある。

(B) 作業時間

各々の負荷量算定作業は単純であるが、その種類、数が膨大となる場合、かなり長時間もしくは人数を要する。当然のことながら作業時間、人数が大きいくほど、積算にともなう様々なミスも生じやすい。

(C) 負荷発生／流出構造の把握と対策の評価

全汚濁負荷流出量の積算は、その信頼性が低い、様々な対策に伴うその変化を知りたい、等の理由により、基礎データの一部を変更しながら試行錯誤も含めて何回も繰り返すことが多い。これに伴い、全負荷流出量に占める各発生源、各流域、もしくは産業別の寄与率等、様々な断面から負荷流出構造を検討する必要性が生ずる。これは、手作業で行なう限り、かなり困難な作業となろう。

2.3 基礎データの不足

汚濁負荷流出量の積算上、その基礎となるデータの不足が最も大きな問題である。これには実測値の不足に直接由来する場合と、文献値の採用に困難がある場合とがある。

(A) 実測値の不足

各汚濁源に対応する原単位、排出率、流達率それぞれの実測値が完全に得られていることはきわめて稀である。むしろ全く得られない場合が多く、得られたとしてもごく一部に限られる。また、個々の汚濁発生、排出、ならびに流達現象が一定でないため、一般に実測値のばらつきも大きい。また、ある流域の全流達負荷量が測定されていても、各負荷源の原単位、排出率、流出率が不明である場合もある。この場合、なんらかの演算を行なわない限り実測値は役に立たず、結果的には有効に生かされていない場合が多い。

実測値がない場合、不足するデータを新たに収集することが理想的である。しかし、予算的、時間的制約のため、新規のデータの収集は不可能であるか、可能であってもごく一部に限定される。しかも、新規に実測する場合、どの負荷源を対象にすべきか、科学的な判断基準がない。このため、実測したデータにより、全負荷流出量の算定精度が必ずしも向上するとは限らない。

(B) 文献値の利用／他の流域の実測値の流用

最も一般的な方法は、他の類似の汚濁源で得られた実測値、すなわち文献値の利用である。この際、デー

データベースが完備していないことが大きな問題となる。現在、数多くの論文、報告書等に原単位、流達率等のデータが報告されているが、これらはまとまっておらず、データの由来や精度などの記載が十分でないことが多いため、専門家でもそれを十分に活用しにくい。したがって、なんらかの判断基準を設け、それぞれの流域特性に応じて矛盾が生じないように原単位を引用することが必要であろう。また、対象水域の1つの流域で実測された原単位、流達量等を他の流域に流用する方法もある。この場合も、引用する際の判断基準が必要であろう。

2. 4 公表上の問題点

汚濁負荷流出量の積算結果、ならびにその対策案を公表する場合、積算方法や基礎データの精度など汚濁負荷推定法の限界に共通の理解がないかぎり、過度の信頼もしくは疑問につながりやすい。積算の全プロセスを必要に応じて明快に示すことができない場合、他の行政部局、住民等に説得性を持って公表することはかなり困難といえよう。

3. 汚濁負荷流出量管理システムの構成と機能

3. 1 マンマシン対話型システムの導入

本システムは、上述のような汚濁負荷量積算に伴う諸問題を解決することを目的として設計した。ただし、一定の論理に従って実測値、文献値を利用し、積算することはまだ困難である。このため、利用者（対象水域の保全担当者）とコンピュータとが対話型で作業を進められるようマンマシン対話型システムを導入し、コンピュータの指示に従ってデータを入力し、かつその積算や再計算等を自動的にに行なうようにした。文献値等の参考データも、必要に応じ、システム内のデータベースから自動的に表示する。このため、専門的な知識を持たない利用者でもシステムを取り扱えるよう設計した。なお、広範囲の利用者を想定し、パーソナルコンピュータ（ここでは PC-9801VF2/VM2）を利用するシステムとした。

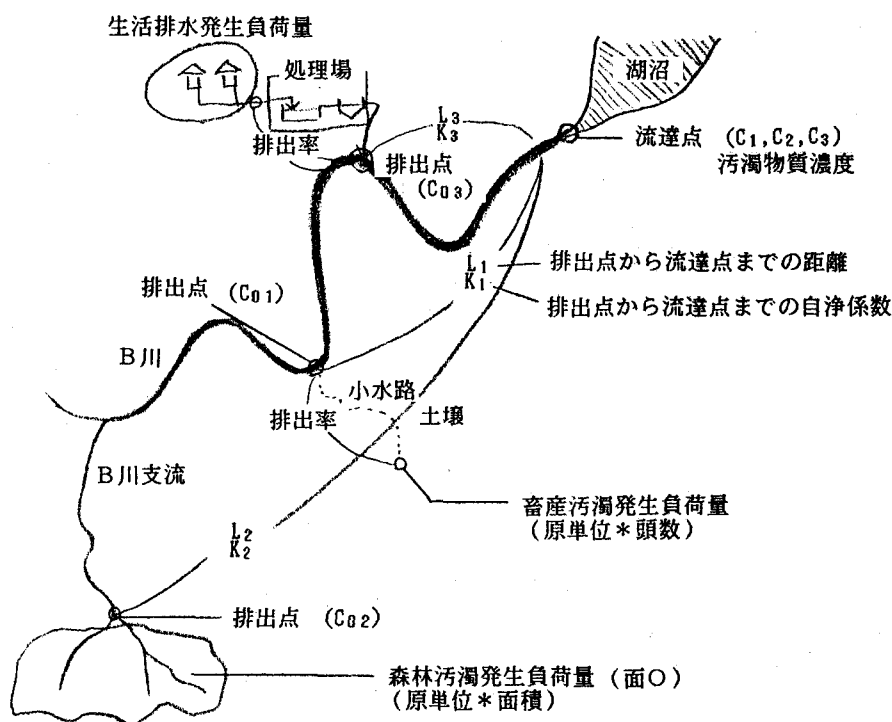


図1 原単位、排出率、流達率

3. 2 汚濁負荷流出機構

(A) 原単位／排出率

基本的な考え方を図1に示す。まず分水界によって流域を分割し、各々の流域内の行政区画を単位としてそこに属する各汚濁発生源毎に発生負荷量を求める。

$$(\text{発生負荷量}) = (\text{原単位}) \times (\text{数量})$$

さらに発生した汚濁負荷が河川に排出される点(排出点)を定め、排出負荷量を次式で求める。

$$(\text{排出負荷量}) = (\text{発生負荷量}) \times (\text{排出率})$$

ここで、排出率は発生負荷の排出点までの到達形態によって決定する。すなわち、生活排水やし尿のように収集し、処理／処分する場合、処理／処分装置の除去率に応じた排出率を決定する。また、処理施設が完備していない畜舎排水や生活雑排水のように、小水路や土壌等を経由して排出される負荷量はその排出過程での浄化率から排出率を与える。

(B) 流達率

流達率は排出点から湖沼への流達点までの河川の流下距離を考慮し、その間の自浄作用によって定義する。実際には、河川勾配、流達時間、水深等の特性に応じて自浄係数を決定するサブモデルにより計算する。

$$(\text{流達負荷量}) = (\text{排出負荷量}) \times (\text{流達率})$$

3. 3 処理フローと機能

本システムにおける処理フローの概要を図2に示す。本システムの主要な機能は下記のとおりである。

(A) 入力項目の指示 (30, 40, 50)

流域内の全汚濁負荷発生源の入力を求める。

(B) 入力機能 (60, 70, 80)

原単位、排出率等の実測値を入力したり、既往の文献値や既に入力した値の一覧表であるデータベースを参照して利用者が適切と思う値を入力する。現時点では全て利用者の判断に依存しているが、将来、社会経済的背景のような関連情報を入力することによって適切な値を推定できるような推論機構を導入し、エキスパートシステムとしての特性を備える予定である。

(C) 計算機能 (100, 110)

発生負荷量、排出負荷量等が実測されている場合、これから原単位、排出率を計算し、以降の入力に対する参考データとする。

(D) 学習機能 (120)

実測値や担当者の判断によって入力した値、計算機能によって得られた原単位等の値をその推定精度(5段階の定性的判断)とともにデータベースに追加する。

(E) 積算機能 (170, 220, 250)

当該流域(170)ならびに全流域(220, 250)からの負荷流出量を積算する。修正機能や様々な負荷削減対策案に対応して原単位、流出率等を変更した場合にも、自動的に積算する。

(F) 検証機能 (120, 190)

ある流域からの全流達負荷量が実測されている場合、その値が積算値とどの程度一致し、また矛盾がないか否かを検討する。通常のシュミレーションモデルにおける検証に相当する。

(G) 修正機能 (200)

実測値と積算値との差が著しい場合、仮定した原単位等を再検討し、実測値との矛盾を解消する。なお、合理的な修正を支援するため、入力した全ての原単位、排出率、流達率とその精度、ならびに全負荷量に占める割合を必要に応じて一覧表で示す。初期のシステムでは、この表をもとに利用者の判断による修正を行うが、将来は専門家の経験を生かし、合理的な修正を行うような推論機構を導入する予定である。

(H) 負荷削減対策／測定計画の評価 (240)

各々の発生源における負荷削減の制約条件、費用等に関するデータベースを準備し、かつ湖沼水質予測モデルと結合することにより、流域全体を対象とした合理的かつ迅速な水質管理方法の探索を行なう。また、

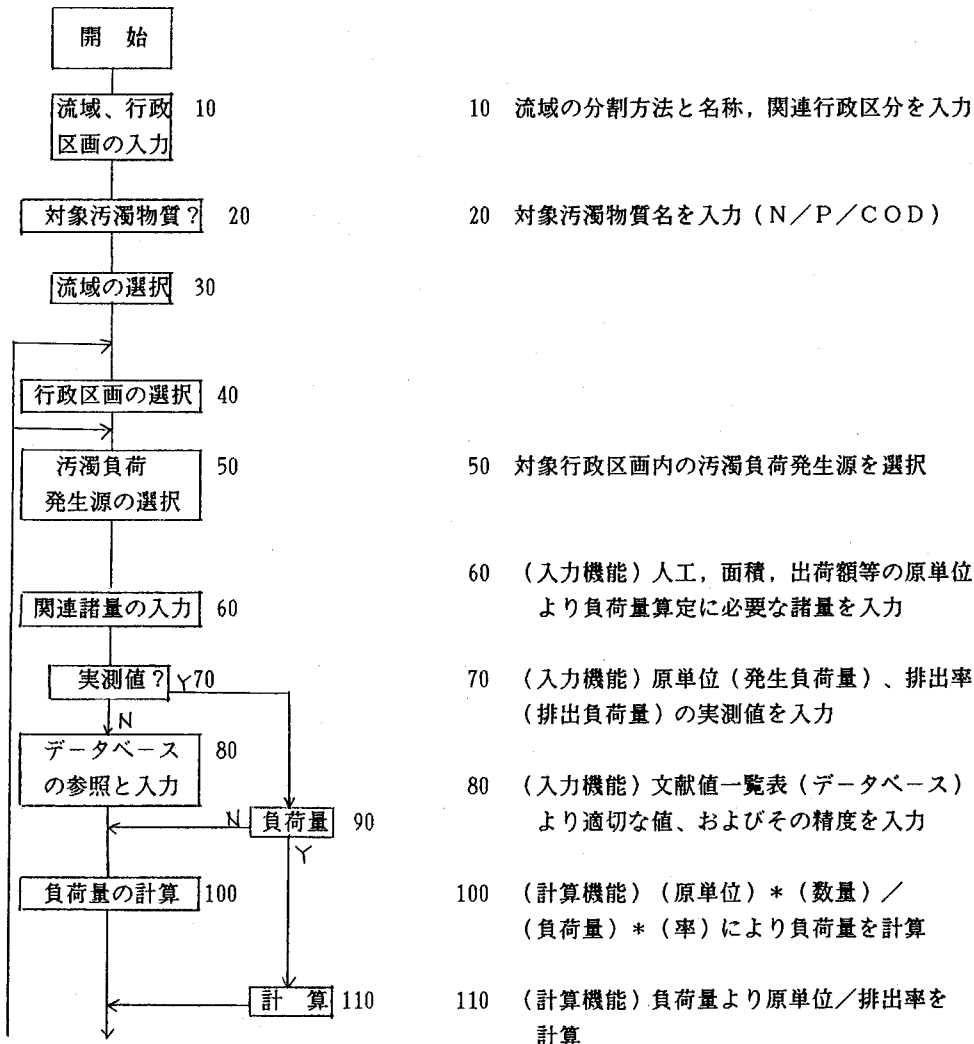
各負荷発生源の相対的寄与度を評価し、今後実測することが必要な負荷源、すなわち全負荷量の推定精度の向上に最も効果的であると考えられる寄与度が大きく、かつ推定精度の低い負荷源を推定する。

(I) 汚濁負荷発生／流達構造の表示機能(240-270)

対象湖沼の汚濁負荷発生、ならびにその流達にいたる構造を表ならびにグラフィックスでわかりやすく表示する。これは、住民ならびに他部局の行政担当者と、当該水域の汚濁構造に関する共通の理解を持ち得るようにし、かつ積算上の疑問に明快に答えるためである。また、場合によっては住民自身によるコンピュータとの対話も含め、水質保全施策への幅広い理解を得るためにも有効な手段となろう。

4. おわりに

本システムの開発はまだ緒についたばかりであり、システムの基本構成が完成した段階である。一方、各地の水域で、負荷発生と流達過程に関する研究が積極的に進められている段階でもある。この意味では、演者らのシステム開発はやや時期尚早かもしれない。しかし、他のコンピュータシステムと同様、研究成果の蓄積とシステムの利用が進むにつれ、システム自身を改良し、同時に研究の方向性にもなんらかのフィードバックすることができると考える。多くの方々による本システムの利用、ならびに御指摘をいただき、より良いシステムにするとともに、本格的なエキスパートシステムへと発展させていきたいと考えている。



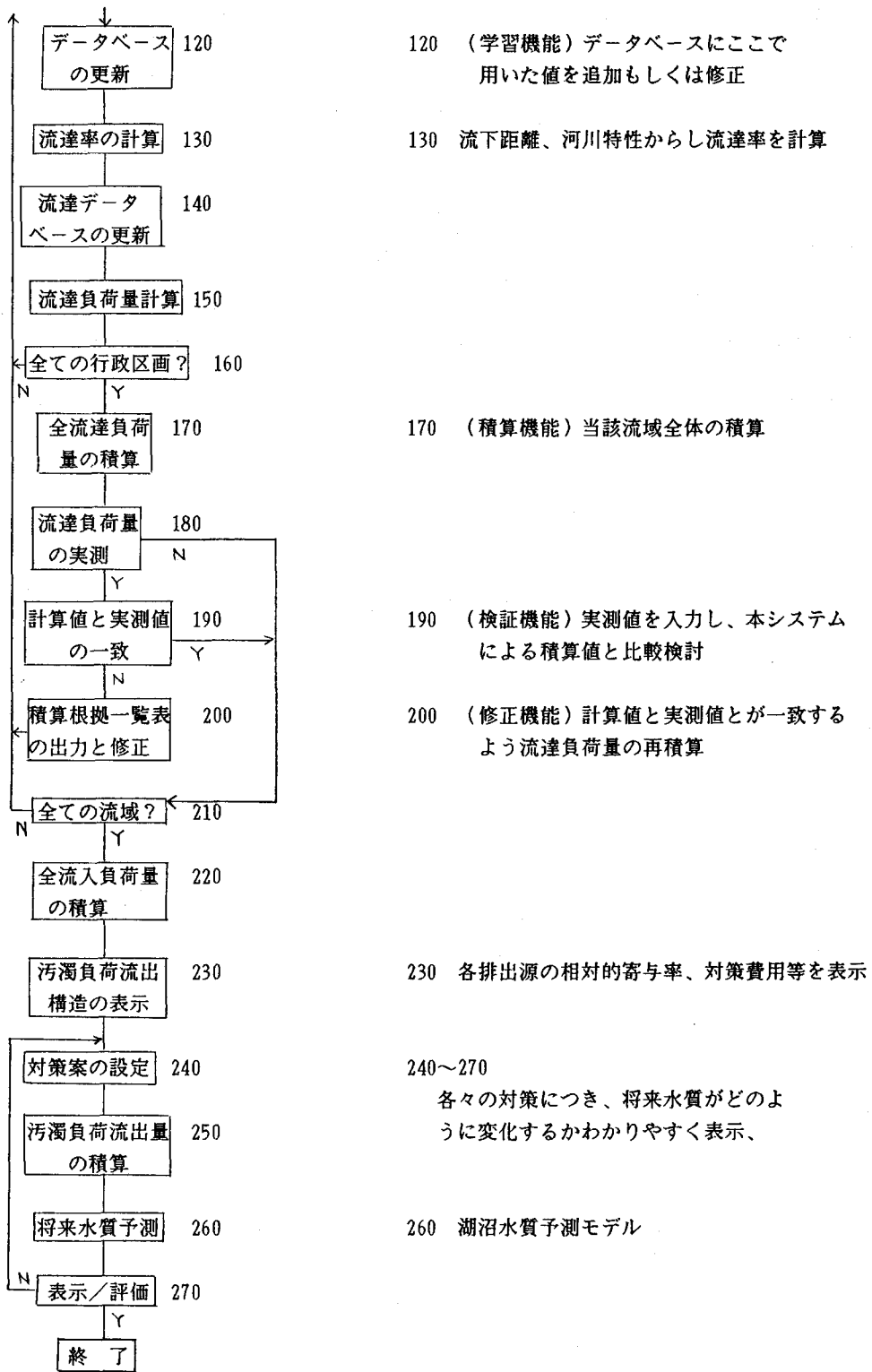


図2 処理のフロー