

I S S N 0386—5878

土木研究所資料第2414号



土木研究所資料

河川および湖沼流域における水量・水質 解析モデル

昭和61年10月

建設省土木研究所
水資源開発研究室

Copyright © (1986) by P.W.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

河川および湖沼流域における水量・水質 解析モデル

森 北 佳 昭
松 下 越 夫

要 旨

河川および湖沼の水質保全対策の基本は流域で発生する汚濁負荷を削減することが第一であると考えられる。従って、河川や湖沼も含めた流域での水量・水質の把握とその総合的管理手法の検討が重要な研究課題となる。当研究室ではこのような観点から、河川および湖沼流域の水量・水質の予測解析を行うため、以下の2種類の数値解析モデルを作成した。

- (1) 河川水量・水質予測モデル
- (2) 湖沼流域水量・水質循環モデル

本報告書では、これらのモデルを計算プログラムも含めて詳しく紹介するとともに、実流域に適用した結果等について報告するものである。

キーワード：水量・水質管理、流出モデル、水収支モデル、堆積負荷評価モデル、準線形化手法、制約条件付非線形最適化手法、貯留関数法、タンクモデル、流送能力・供給関数型モデル、システムダイナミクス法

序 文

河川や湖沼は国土の重要な構成要素であり、その治水及び利水機能の増進により生活領域、生産活動の拡大等を可能にし、我が国の発展に重要な役割を果たしてきた。さらに河川や湖沼の持つ環境機能は、生活環境や地域の自然及び精神的風土等に大きな影響を与えてきた。

近年、急速な流域の都市化、生産活動の拡大等によって河川、湖沼環境が著しく変化するとともに、流域社会のこれら環境に対する要請も一層増大し、極めて多様化するようになってきた。このため、河川、湖沼環境の適正な管理は、緊急かつ重要な課題となっている。特に、流域において水需要が増大し、また水質汚濁が社会問題となっている現在、水質源の開発等を進めつつ水質保全を図ることが重要であり、このため河川管理者が実施すべき水量・水質管理のための施策の方針を確立することが必要となっている。

このような背景のもとに、昭和 56 年 12 月、河川審議会は「河川環境管理のあり方について」の答申を建設大臣に提出した。その中で河川における水量及び水質の一体的かつ総合的管理の強化の必要性とその施策について述べている。当研究室においても、近年のこのような情勢を踏まえた総合的な水管理手法について検討を行ってきた。とりわけ、流域で発生する汚濁負荷を削減することが、河川や湖沼の水質保全対策の基本であるとの認識のもとに、河川や湖沼も含めた流域での水量・水質の把握とその総合的管理手法について重点的に検討してきた。

本報告書は、以上のような観点から河川及び湖沼流域のそれぞれについて水量・水質の予測解析を行うための数値解析モデルを作成し、その適用性と実用性について検討した結果ならびに計算プログラムなどモデル適用にあたって必要な項目、手順等を紹介するものである。適用結果は概ね実現象を再現しており、その妥当性が示されている。従って、今後はこれらのモデルを用いた水管理手法へと、研究を発展、展開させていく段階にあると思われる。これについては現在検討中であり、さらに成果を蓄積した上で紙面を新たに紹介していく所存である。

尚、本モデルを作成するにあたり各府県、各工事事務所から貴重な観測データの提供等、種々の御協力を賜った。ここに記して感謝の意を表する次第である。

昭和 61 年 10 月

建設省土木研究所ダム部

水資源開発研究室 研究員

森北 佳昭

松下 越夫

目 次

1. はじめに	1
2. 河川水量・水質モデル	4
2.1 概 要	4
2.2 河川水量・水質予測モデル	4
2.2.1 水量モデル	4
2.2.2 水質モデル	7
2.3 準線形化手法を援用した水量・水質モデルの同定手法	15
2.3.1 準線形化と制約条件付非線形最適化手法を組み合わせたモデル同定手法	15
2.3.2 水量モデルへの同定手法の適用	19
2.3.3 水質モデルへの同定手法の適用	21
2.4 実流域への適用とその結果	22
2.4.1 水量モデルの実流域への適用結果	22
2.4.2 水質モデルの実流域への適用結果	33
2.5 参考文献	48
3. 湖沼流域水量・水質循環モデル	49
3.1 概 要	49
3.2 水収支モデル	50
3.3 負荷量モデル	55
3.4 数値計算手法	61
3.5 実湖沼流域への適用結果	66
3.5.1 K 湖流域への適用	66
3.5.1.1 モデルの同定	67
3.5.1.2 検証計算	84
3.5.2 S 湖流域への適用	90
3.5.2.1 モデルの同定	91
3.5.2.2 将来予測計算	99
3.5.3 モデルの今後の検討の課題	111
3.6 参考文献	113
4. あとがき	114

付 録	117
A 河川水量・水質予測モデル	117
A.1 準線形化及び準線形化のパラメータ同定への応用	117
A.2 プログラムの構成と内容	131
A.3 入力データ、変数名の説明	133
A.4 プログラムリスト	135
A.5 結果出力例（ラインプリンター）	149
A.6 結果出力例（XY プロッター）	151
B 湖沼流域水量・水質循環モデル	153
B.1 湖沼流域水量・水質循環モデル適用指針	153
B.2 計算プログラム	187
B.3 プログラムリスト	192
B.4 入力データ、変数名の説明	207

1. は じ め に

河川や湖沼は、古来より農業用水、生活用水、交通及び水産等の水利用が行われており、これらを中心に生活基盤が形成された例が多い。近世までは、河川や湖沼近くの限られた地域での農業用水を中心にした取水と、交通、水産など利水機能への働きかけが中心であった。第二次大戦後は生活、産業規模の拡大に伴い、都市化を中心とした国土の激しい変貌のため、基盤整備として、治水・利水機能への働きかけが大規模なものとして展開されてきた。しかしながら、近年、社会・経済の高度成長から安定成長への移行とともに、社会のニーズは物の充足から生活の潤い、心の豊かさへと移ってきた。その結果、河川や湖沼に対し、残された数少ない自然空間としての認識が次第に高まり、親水活動と結びついた水環境及び空間環境の充実が求められるようになった。

現在、我が国の河川、湖沼等の水環境の大きな問題点として流水、貯留水の水質の悪化に関わるものが挙げられる。すなわち、上述のような流域における急激な生活、産業規模の拡大、これに対する流域での対応が追いつかない等の理由による生活・産業排水の流入が増大し、河川、湖沼の持つ各種機能の低下、特に富栄養化の進行に伴う障害等が発生している。図-1.1は環境庁資料による全国水域の環境基準達成率の推移である。これより、河川については水質改善の傾向は見られるが、それでもなお基準達成率は60%程度にすぎない。一方、湖沼についてはここ数年横ばい状態で40%程度の達成率にとどまっており、その結果表-1.1に示すような各種の利水障害が発生している。

このような状況の中で、昭和56年12月18日河川審議会は「河川環境のあり方について」の建設大臣への答申で水環境について以下のような基本方針を示した。

「河川の水量及び水質は、一体的かつ総合的に管理されなければならないので、河川管理者は、水環境に

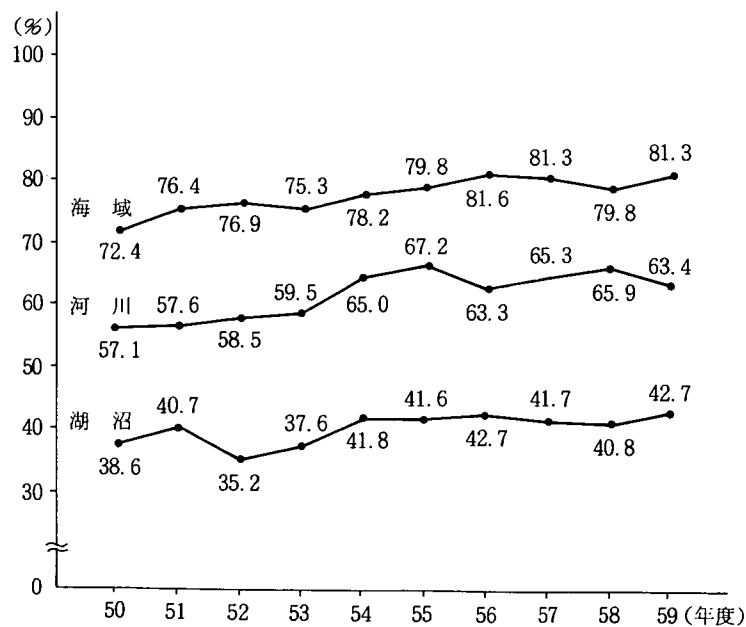


図-1.1 環境基準（BOD又はCOD）達成率の推移
（昭和59年度公共用水域水質測定結果について、
環境庁水質保全局、昭和60年12月）

表－1.1 主要湖沼における水質汚濁状況

(公害と対策, 昭和59年9月号より)

湖 沼 名	都道府県	水質の状況 (COD)			利 水 状 況	利 水 障 害 (昭和47年度以降) (に発生したもの)	関 係 県 の 対 策
		環境基準	57年 度 水 質	達 成 状 況			
琵琶湖	滋 賀	mg/ℓ	mg/ℓ		上水道, 農業用水, 工業用水, 水産, 水浴, 釣, 観光, 舟遊び, 自然環境保全	異臭味障害, ろ過障害 アユおよびコイのへい死, 水浴場閉鎖	○富栄養化の防止に関する条例 (55.7.1 施行)
		(北) 1 (南) 1	2.6 3.9	× ×			
霞ヶ浦	茨 城	3	11	×	上水道, 農業用水, 工業用水, 水産, 釣, 舟遊び	異臭味障害, 網イケスのコイのへい死, 水浴場閉鎖	○富栄養化の防止に関する条例 (57.9.1 施行) ○富栄養化防止基本計画 (57.9)
諏訪湖	長 野	3	8.3	×	農業用水, 水産, 釣, 舟遊び	網イケスのコイのへい死, 観光的価値の低下	
穴道湖	島 根	3	6.0	×	水産, 釣, 観光	観光的価値の低下	○水質管理計画 (58.12)
中海	島 根 鳥 取	3	5.6	×	水産, 釣, 観光	観光的価値の低下	
印旛沼	千 葉	3	15	×	上水道, 農業用水, 工業用水, 水産, 釣	異臭味障害, 観光的価値の低下, 釣客減少	○水質管理計画 (57.4)
手賀沼	千 葉	5	25	×	農業用水, 水産, 釣, 舟遊び	水稻倒伏および減収, 釣および舟遊び客の減少, 観光的価値の減下, 魚介類被害	○水質管理計画 (57.4)
児島湖	岡 山	5	9.8	×	農業用水, 水産, 釣	水稻の成育障害および収量・品質の低下	
相模湖	神 奈 川	(BOD 2)	(BOD 1.9) (COD 3.3)	(○)	上水道, 工業用水, 釣, 舟遊び	異臭味障害, ろ過障害	
釜房ダム	宮 城	1	2.7	×	上水道, 農業用水, 工業用水, 水産, 自然環境保全, 釣	異臭味障害	

については、河川及び取排水の水量及び水質の状況、当該河川に関する水利特性、汚濁・浄化特性等の知見、流域における土地利用、水利用等の見通しに基づく将来の水量及び水質の予測等を踏まえて、これを管理するものとする。

この場合、特に渇水時において、水量の減少及び水質の汚濁により国民生活及び国民経済上重大な障害が発生することのないように河川管理施設の管理、取排水の管理、水環境の改善のための事業等を総合的に実施して、水量の確保、水質の保全等を図るものとする。」

このような社会的要請を背景に、当研究室においても河川や湖沼流域での水量・水質の一体的かつ総合的管理の方法論について、ここ数年検討を加えてきた。この検討はまだ中途段階であり、今後さらに継続、発展させていく必要があるが、本報文では現時点で得られた成果の中で、特に水量・水質の予測解析に資するための数値解析モデルについて報告するものである。ここに紹介するモデルは、河川および湖沼のそれぞれの流域で適用するもので、次の二種類のモデルである。

(1) 河川水量・水質予測モデル

河川の流出特性あるいは水質現況に多大な影響を及ぼす流域の構造変化に追従するシステム・モデルであり、自然水循環を表わす水量モデル及び河川の負荷量を予測する水質モデルの二つのメインモデルから構成されている。また、本モデルの同定にあたってモデルの汎用性を高めるため、モデル式に内在するパラメー

タは従来より当研究室で提案している準線形化手法を用いて決定していることが特徴として挙げられる。

(2) 湖沼流域水量・水質循環モデル

湖沼流域を適当な大きさのブロックに分割し、各ブロック毎に流出解析のためのタンクを設定し河川、湖沼、他ブロック間の水量・負荷量の収支を計算するものである。湖沼については各流域ブロックからの水量・負荷量の収支を連続式にもとづいて計算するものであり、トータルモデルは非常に複雑となるため、数値計算にはシステムダイナミクス (SD) 法を用いている。

第2章、第3章では、これらのモデルについて詳しく紹介するとともに、数値計算手法さらには実流域に適用した結果よりモデルの妥当性と実用性といった角度からも検討を加えてみた。また巻末には、付録として各モデルの適用指針や計算プログラム、入力データ・各変数の説明等、モデルを適用する際に必要な諸事項一式を添付している。

少しでも多くの方々に、これらのモデルを利用していただければ幸いである。

2. 河川水量・水質予測モデル

2.1 概 要

河川において水資源管理を行う場合には、河川流量を把握し水量の確保を図ることはもちろん、水質状況を察知し河川環境等の悪化を防ぐことも重要な課題である。そこで本章では、河川における水資源管理のための基礎的調査として、低水流出量及び河川負荷量を日単位でシミュレートできる河川水量・水質予測モデルの検討を行った。

また、ここで作成されるモデルは、河川の流出特性あるいは水質状況に多大な影響を及ぼす種々の地域計画との兼ね合いを考えたとき、将来の流域の構造変化に対して追従するシステム・モデルであることが重要である。このため、水質を含む水循環システム毎に同定していくことが適切であり、しかもそれらのシステム・モデル自体に現象の内部機構がある程度反映されていることが要求される。以上のことを踏まえ、自然水循環を現わす水量モデル及び、河川の負荷量を予測する水質モデルの2つのメイン・モデルを作成し、さらにモデルの汎用性を高めるために、モデル式に内在するパラメータの決定に当たっては、準線形化手法を用いて自動的に決定を行っている。

以下では、この河川水量・水質予測モデルの作成の手順を示すとともに、本モデルを実流域へ適用した結果について述べる。なお、実流域としては、近畿地方に位置するA川流域を取り上げた。解析に必要な資料として収集したものは、A川流域の平均日雨量、平均日蒸発散量（あるいは日平均気温）及び、基準地点の日平均流量、日平均水質、集水面積（252 km²）である。資料期間は昭和50年から昭和54年までの5年間である。

2.2 河川水量・水質予測モデル

2.2.1 水量モデル

(1) モデルの概説

水量モデルは流域の降雨時系列から自然流出量時系列の推定を行うものであり、前述の水資源管理を考える上で、長期流出あるいは低水流出予測に重点を置いたモデルとし、日単位によりシミュレートするものである。本水量モデルは図-2.1に示すように、降雨の分離過程を推定するための降雨分離モデルと、降雨流出現象を地下水流出モデル及び表面流出と中間流出を一括した直接流出モデルで表現する3つのサブ・モデルから構成されている。また、各サブ・モデルの応答関係を未知パラメータを介在させて数式表現し、全体のシステムを構成できる集中定数常微分方程式系モデルとして表現している。集中定数系モデルは、内部機構の詳細な情報の欠落によるモデリング過程での障害の回避や、将来的に新たな物理的機構が解明された場合に、その組み込みに対して柔軟性を持つという利点を備えている。

(2) 降雨分離モデル

降雨流出系の非線形性は、降雨 r が直接流出に寄与する降雨 r_1 と地下水流出に寄与する降雨 r_2 とに分離される過程にその大部分が依存している¹⁾。これらの考え方にに基づき、筆者らはモデル分析を行ってきたが²⁾、現象の非線形性を考慮するほどモデルによる流出予測精度は向上するが、反面、流出パター

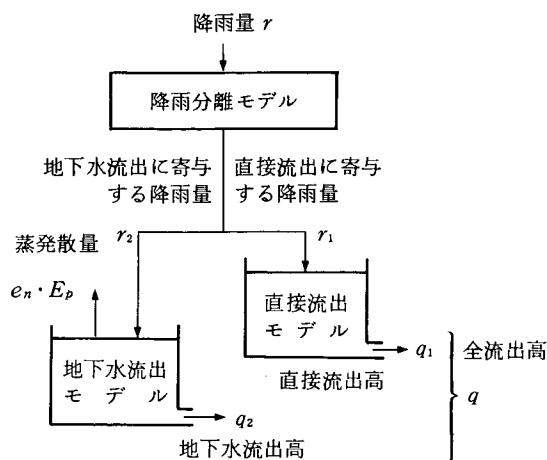


図-2.1 水量モデルの基本構造

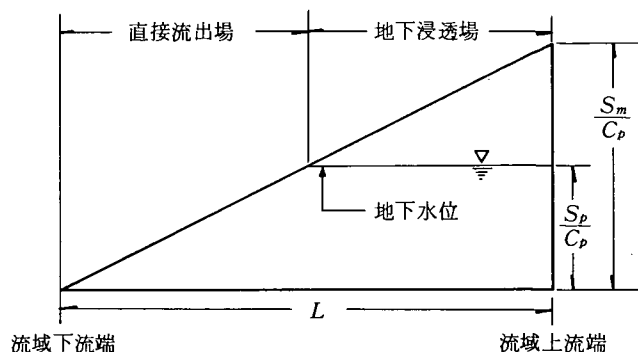


図-2.2 降雨分離モデル説明図

ンによっては、パラメータの決定が困難になるという結果が得られた。そこで本調査では、降雨の分離機構は、先行降雨の影響を受けた土壌の湿潤状態により、時々刻々変化していくものと考え、流域を直接流出場と地下浸透場の2つに分け、現象を線形とみなした。すなわち流域において、降雨時に土壌が飽和状態に達し、降雨が地下に浸透しない領域では直接流出が生起するものと考え、この領域を直接流出場とし、その他の領域を地下浸透場と位置付けた。以上の仮定により、直接流出場並びに地下浸透場の面積は、地下水貯留高を考慮すると次のように表わされる（図-2.2 参照）。

$$\left\{ \begin{array}{l} A_1 = B \cdot L \cdot \frac{(S_2/C_p)}{(S_m/C_p)} = B \cdot L \cdot \frac{S_2}{S_m} \dots\dots\dots (2.1) \\ A_2 = A - A_1 = B \cdot L \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_m}\right) \dots\dots\dots (2.2) \end{array} \right.$$

ここに、 A ：流域面積， A_1 ：直接流出場面積， A_2 ：地下浸透場面積（以上， m^2 ）， S_2 ：地下水流出に関する流域貯留高， S_m ：最高地下水貯留高（以上， mm/day ）， B ：流域（平均）幅， L ：流域（平均）長（以上， m ）， C_p ：空隙率（%）

(2.1)，(2.2) 式をもとに、直接流出降雨高及び地下水流出降雨高は、次のように表わされる。

$$\left\{ \begin{array}{l} A \cdot r_1 = A_1 \cdot r = B \cdot L \cdot \frac{S_2}{S_m} \cdot r \dots\dots\dots (2.3) \\ A \cdot r_2 = A_2 \cdot r = B \cdot L \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_m}\right) \cdot r \dots\dots\dots (2.4) \end{array} \right.$$

ここに、 r ：総降雨量， r_1 ：直接流出に寄与する降雨量， r_2 ：地下水流出に寄与する降雨量（以上， mm/day ）あるいは、 $A = B \cdot L$ より

$$\left\{ \begin{array}{l} r_1 = \frac{S_2}{S_m} \cdot r \dots\dots\dots (2.5) \\ r_2 = \left(1 - \frac{S_2}{S_m}\right) \cdot r = r - r_1 \dots\dots\dots (2.6) \end{array} \right.$$

(3) 流出モデル (直接流出モデル, 地下水流出モデル)

本節では上記降雨分離モデルにより推定される各降雨成分を, 河川水量に変換する流出モデルについて紹介する。さて, ここでは直接流出として, 表面流出が卓越していると考えた場合と中間流出が卓越しているとした場合の2通りを設定し, それぞれ貯留関数モデル, タンクモデルを適用することにした。前者は降雨流出過程の非線形性を直接流出に求めたものであり, 後者は線形な流出過程を想定したものである。なお, 降雨のピークから流出のピークまでの遅れ時間は, 取り扱う降雨流出現象が日単位であるためほぼ無視できるものとして考慮していない。また, 蒸発散量については, 便宜上地下水流出部分において考慮することにする。

1) 地下水流出モデル

地下水流出量はダルシー則による流出であると定義すると, これは一段のタンクモデルと式のうえで等価なものとなせる。よって,

$$\begin{cases} \dot{S}_2 = r_2 - q_2 - e_n \cdot E_p & \dots\dots\dots (2.7) \\ q_2 = \phi \cdot S_2 & \dots\dots\dots (2.8) \end{cases}$$

ここに, q_2 : 地下水流出量, E_p : 蒸発散能 $\approx$ 計器蒸発量 (以上, mm/day), e_n : 蒸発散係数, ϕ : 低減係数

ただし, 当該流域の計器蒸発量データが入手不可能な場合には, 次のハーマン式³⁾を用いて気温データにより蒸発散能を推定する。

$$E_p = 0.14 \cdot D_o^2 \cdot P_t \dots\dots\dots (2.9)$$

ここに, D_o : 可照時間 (12 hr/day), P_t : 日平均気温に対する飽和絶対湿度 (gm/m³)

2) 直接流出モデル

イ) タンクモデルを適用した場合

直接流出において, 中間流出が支配的であるとして, ダルシー則に等価な一段のタンクモデルを援用すると,

$$\begin{cases} \dot{S}_1 = r_1 - q_1 & \dots\dots\dots (2.10) \\ q_1 = m \cdot S_1 & \dots\dots\dots (2.11) \end{cases}$$

ここに, q_1 : 直接流出量, S_1 : 直接流出に関する流域貯留高 (以上, mm/day), m : 低減低数

ロ) 貯留関数モデルを適用した場合

直接流出において, 表面流出が支配的とみれば, マニング則を考慮した貯留関数法の適用が妥当である。この場合,

$$\begin{cases} \dot{S}_1 = r_1 - q_1 & \dots\dots\dots (2.10) \\ S_1 = K \cdot q_1^P & \dots\dots\dots (2.12) \end{cases}$$

ここに, K, P : 流域または河道による定数 (ただし, P はマニング則により 0.6 とする)

また, 全流出量 q (mm/day) は次のとおりとする。

$$q = q_1 + q_2 \dots\dots\dots (2.13)$$

以上の(2.1)～(2.13)式より, q 及び q_2 に関する連立常微分方程式系が次のように導かれる。

a) 直接流出をタンクモデルにより定式化

$$\begin{cases} \dot{q} = -m \cdot q + (m - \phi) \cdot \left(\frac{r}{\phi \cdot S_m} + 1 \right) \cdot q_2 + \phi \cdot r - \phi \cdot e_n \cdot E_p & \dots\dots\dots (2.14) \\ \dot{q}_2 = -\phi \cdot \left(1 + \frac{r}{\phi \cdot S_m} \right) \cdot q_2 + \phi \cdot r - \phi \cdot e_n \cdot E_p & \dots\dots\dots (2.15) \end{cases}$$

b) 直接流出を貯留関数モデルにより定式化

$$\begin{cases} \dot{q} = \frac{r}{P \cdot K \cdot \phi \cdot S_m} \cdot q_2 \cdot (q - q_2)^{1-p} - \frac{1}{K \cdot P} \cdot (q - q_2)^{2-p} \\ \quad - \phi \cdot \left(1 + \frac{r}{\phi \cdot S_m} \right) \cdot q_2 + \phi \cdot r - \phi \cdot e_n \cdot E_p & \dots\dots\dots (2.16) \\ \dot{q}_2 = -\phi \cdot \left(1 + \frac{r}{\phi \cdot S_m} \right) \cdot q_2 + \phi \cdot r - \phi \cdot e_n \cdot E_p & \dots\dots\dots (2.17) \end{cases}$$

ここで決定すべき未知パラメータは、タンクモデルを用いた(2.14)～(2.15)式の場合は、 m, ϕ, S_m, e_n 及び、 q, q_2 の初期条件の計 6 個である。また、貯留関数モデルを用いた(2.16)～(2.17)式の場合も、 m と K が変わる以外は同じであり計 6 個存在する。

2.2.2 水質モデル

(1) モデルの概要

水質予測モデルを作成するにあたり、まず対象とすべき水質項目の選定を行い、次いで従来から鋭意行われてきた負荷流出（水質）モデルに関する研究成果を概観することにより、負荷の挙動を把握し、モデル化の基本的勘案事項の整理を行った。さらに、この結果を受けて基本的な水質モデルを決定し、統計的な視点から分析を加え対象水質項目に応じたモデル設定を行った。

(2) 対象水質項目の選定

対象とすべき水質項目は、次の条件を満たしていることが重要と思われる。

1) 利水上重要な水質であること

イ) 河川、湖（ダム湖）等の水質汚濁に係わる環境基準に指定されている項目

- ・人の健康に係わる基準項目
- ・生活環境に係わる基準項目

ロ) 水道水源の水質基準に指定されている項目

- ・健康障害項目
- ・利用障害項目

2) 物質収支が成り立つもの

上記の条件を考慮して、対象水質項目は表-2.1 に示す SS, Cl^-, NH_4^+-N, COD の 4 項目とした。

(3) 負荷流出機構に関する定性的検討

本節では負荷流出機構のモデル化の知見を得るため、従来の研究成果を整理・検討する。一般に負荷の流出は、浮遊性物質と溶解性物質によりその流出特性が異なるといわれている。すなわち、以下に述べるような特性が報告されている。

表-2.1 対象水質項目

項 目	属 性	関 係 水 質 基 準
1. SS (浮遊物質)	・浮遊物質	・河川, 湖の生活環境に係わる環境基準
2. Cl^- (塩素イオン)	・溶解性無機物	・水道水源の水質基準
3. $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (アンモニア性窒素) ¹⁾	・溶解性無機物	・水道水源の水質基準
4. COD (化学的酸素要求量)	・有機物	・河川 (BOD: 生物化学的酸素要求量), 湖, 海域の生活環境に係わる環境基準 ・水道水源の水質基準

注) 窒素は流下に伴いアンモニア性→亜硝酸性→硝酸性に変化することからT-N(総窒素)が適当と考えられるが, データの測定状況によりアンモニア性窒素を用いることとする。

1) 浮遊性物質^{4)~8)}

イ) 時間単位オーダーにおける流量と負荷量のサイクリング現象

これは図-2.3 に示すように, 負荷量と流量との経時的関係はレイティングカーブがループ性状を示すというものである。すなわち, 負荷量は降雨前半に出やすく, 流量がある一定以上になると流量増にかかわらず時間の経過とともに負荷量は減少傾向を示すというものである。

ロ) 日単位オーダーにおける先行降雨の影響による負荷流出特性の変化

図-2.4 に示すように, いくつかの流量ピークを有する降雨流出の場合, 流量規模が同じぐらいであれば最初の出水時の方に大きな負荷量のピークがみられる現象である。

ハ) 季節オーダーにおける流出特性の変化

季節オーダーの流出特性の変化の例としては, 図-2.5 に示されるように晴天が続くと思われる7~8月の後, 台風などの影響により多降雨となる9~10月において特に多量の負荷流出がおこるという報告がある。

二) 流出特性の流量規模による変化

流出特性の流量規模による変化は, 図-2.6 に示すようにある流量規模を境にして負荷量と流量の関係に急な変化がみられる場合があるというものである。

2) 溶解性物質^{4)~7), 9)}

イ) 時間~日単位オーダーでの負荷量の流量に対する追従性

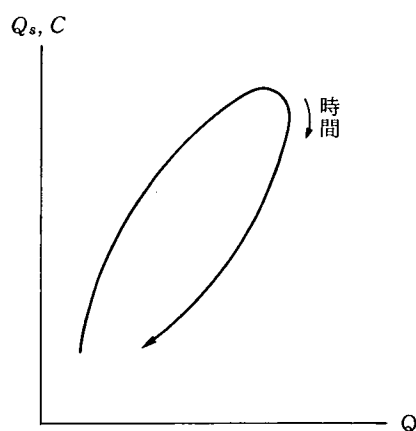


図-2.3 $Q_s \sim Q$ の関係⁴⁾

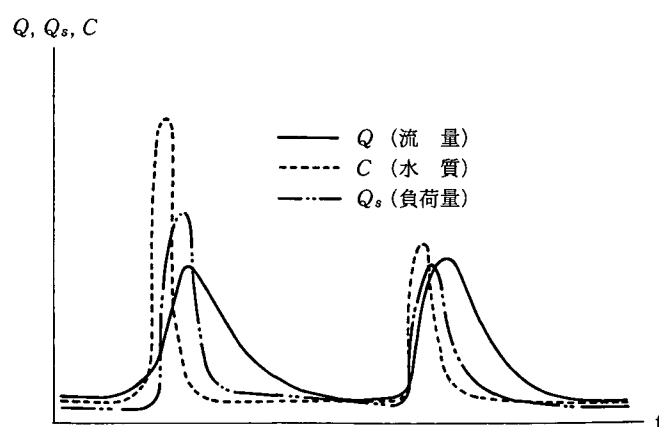


図-2.4 ポルット・グラフの特性⁴⁾

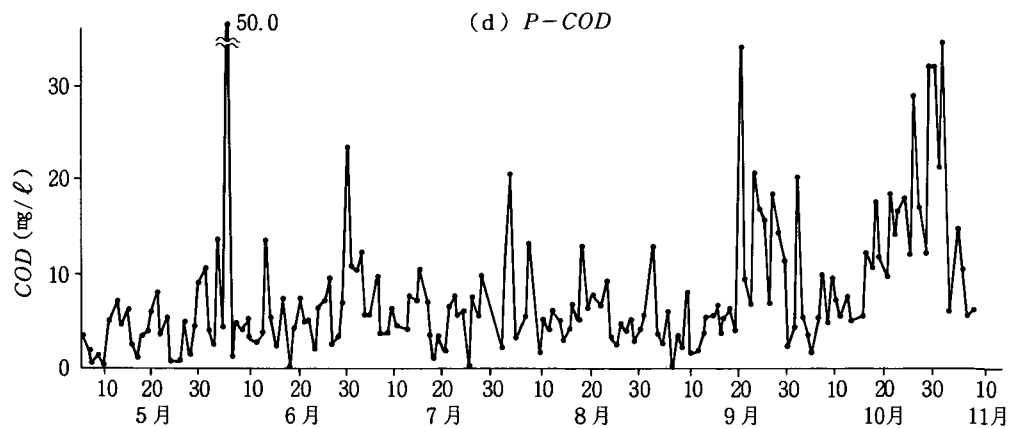


図-2.5 浮遊性物質の季節変化⁵⁾

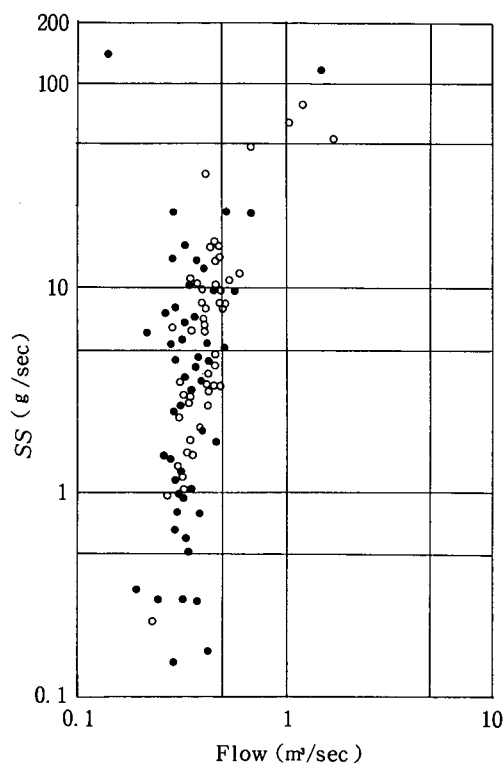


図-2.6 流量規模による負荷の変化⁴⁾

1つの降雨に着目したとき、すなわち短い時間オーダーにおいては、負荷量と流量との間には前述のイ), ロ)のような定性的な関係はなく、流量の大きさに応じた負荷量が流出するようにみられる (図-2.7 参照)。また、流出全体を通しての濃度変化も小さく、 $Q_s \sim Q$ の関係がみられる。

ロ) 季節オーダーにおける負荷量の流量に対する流出変化

溶解性物質は、前のハ) で示した浮遊性物質と比べ、年間の流出特性は比較的安定している。しかし、これを長期的にみると、その関係は一意的ではなくなり、 $C \sim Q$ カーブはループ性状を有するというものである (図-2.8 参照)。

以上の負荷流出機構の特性により次のことが述べられよう。まず、浮遊性物質のイ)~ハ)の性質は現象の時間オーダーの相違を除くと全て同一の現象と考えられ、流域に潜在する負荷貯留量により生起するものと

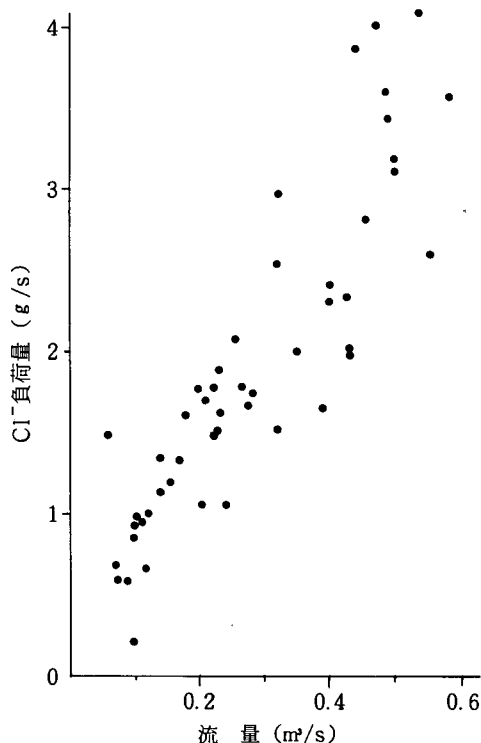


図-2.7 雨天時の Cl^- 負荷量と流量の関係⁴⁾

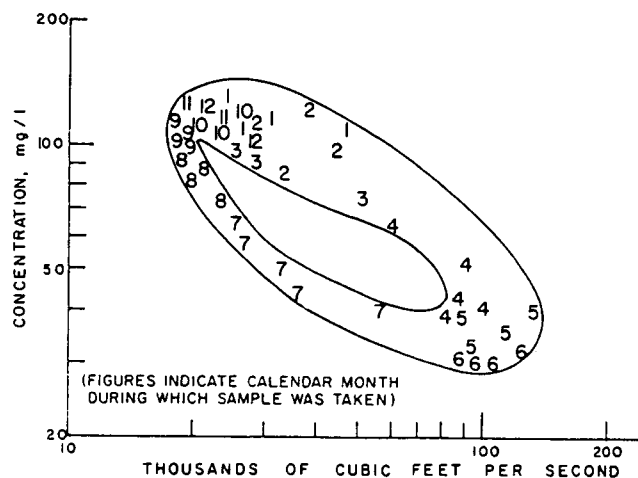


図-2.8 季節的流出変化⁹⁾

理解できる。このことは時間オーダーにかかわらず、降雨流出過程の前半においては流域の負荷の貯留量が大きいので若干の降雨によってもかなり大きな負荷流出が生じ、その後は前半の流出により負荷のポテンシャルが下がっているため、同程度の降雨に対しても前半ほどの負荷流出は起こらないことに起因するものと考えられる。

また、溶解性物質では、短い時間オーダーでみると負荷量と流量の間に比例関係が認められたが、長期的なオーダーでみると上記の現象が顕著にみられることから、短い時間オーダーにおいても程度は小さいものの、同様な現象が生起しているのではないと思われる。

次に流出特性の流量規模による変化では、図-2.6をみると両者の関係の変化点を境としたときの低水部においてデータのばらつきが大きくみられる。このことは一つの降雨を通して流量の立ち上がり部と逓減部とでは、同じ流量でも負荷量は異なるという上述のサイクリング現象によるものと考えられ、この現象と負荷の貯留量の時間的変化をみることにより説明を与えることができよう。

(4) 基本的な水質モデルの決定

水質モデルについては(3)の検討から、浮遊性物質、溶解性物質にかかわらず、流域の負荷の貯留現象を考慮することにより、実現象と定性的整合性のとれた負荷流出機構を再現するモデル化が可能となることを考察できた。そこで、基本的な水質モデルとして、負荷の貯留機構を考慮できる。次の推積負荷評価モデル^{4),10),11)}を検討することとする。

$$\begin{cases} L = K \cdot P \cdot q^a & \dots\dots\dots (2.18) \\ \dot{P} = d - L & \dots\dots\dots (2.19) \end{cases}$$

ここに、 L ：流出負荷量 ($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$)、 K ：定数 (流出率)、 P ：負荷貯留量 (g/m^2)、 q ：流量 (mm/day)、

d : 定数(発生負荷量) ($\text{g}/\text{m}^2/\text{day}$), α : 定数

ただし、上の堆積負荷評価モデルの一般的な形は、 $L=K \cdot P^\beta \cdot q^\alpha$ として提案されているが、 α や β は水質ごとに異なる値が用いられており(例えばBOD, COD は $\beta=2$, $\alpha=1$, SS は $\beta=1$, $\alpha=2$ など¹⁰⁾), 統一の見解は得られていない。また、 α に比べて β は予測精度に及ばず影響が少ないという報告もなされている。以上のことを踏まえて、問題を単純化して考える立場から $\beta=1$ の仮定をおいてモデルの設定を行っている。

(5) 水質モデルの統計的検討

(4)で定式化した水質モデル(堆積負荷評価モデル)について統計的な検討を行う。すなわち、主成分分析により、概ね負荷貯留量が一定と考えられる期間に年間を分割し、その期間毎に各水質項目について負荷量と流量の関係の検討を行った。

1) 主成分分析による水質変化特性の検討

(2.18) 式より α の値が 1.0 近傍であれば、水質 (L/q) の挙動は負荷量の挙動に近いものとして捉えることができる。そこで、前述で選定した SS, Cl^- , NH_4^+-N , COD (KMnO_4 消費量) の月平均水質(図-2.9 参照)を特性値とし、昭和 52 年~昭和 54 年までの 3 年間計 36 ヶ月分のデータを用いた主成分分析により、年間を負荷貯留量について特性の均質な区間に分割を行ったところ、第 2 主成分までで 74% の寄与率が得られた。これより、第 2 主成分までで水質変化特性は十分に捉えられているものと考え、図-2.10 に第 2 主成分までの各特性値の因子負荷量を示した。図-2.10 より、第 1 主成分は全ての水質指標の汚濁程度を示す軸とみられ、第 1 主成分の値が小さい程、当該流域の汚濁の度合は増加するものと思われる。また第 2 主成分は溶解性水質の大きさを示す軸とみられ、第 2 主成分の値が大きい程、水質全体に占める溶解性物質の値が大きくなることが窺われる。これは換言すると、人為的汚染の程度を示す軸とも判断できよう。

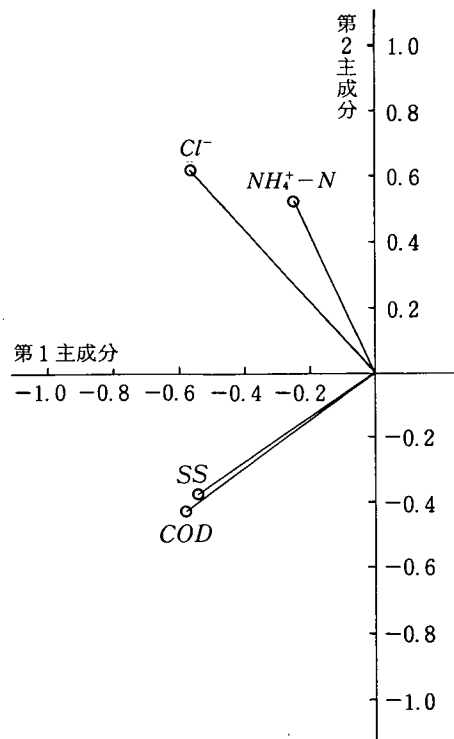


図-2.10 因子負荷量布置

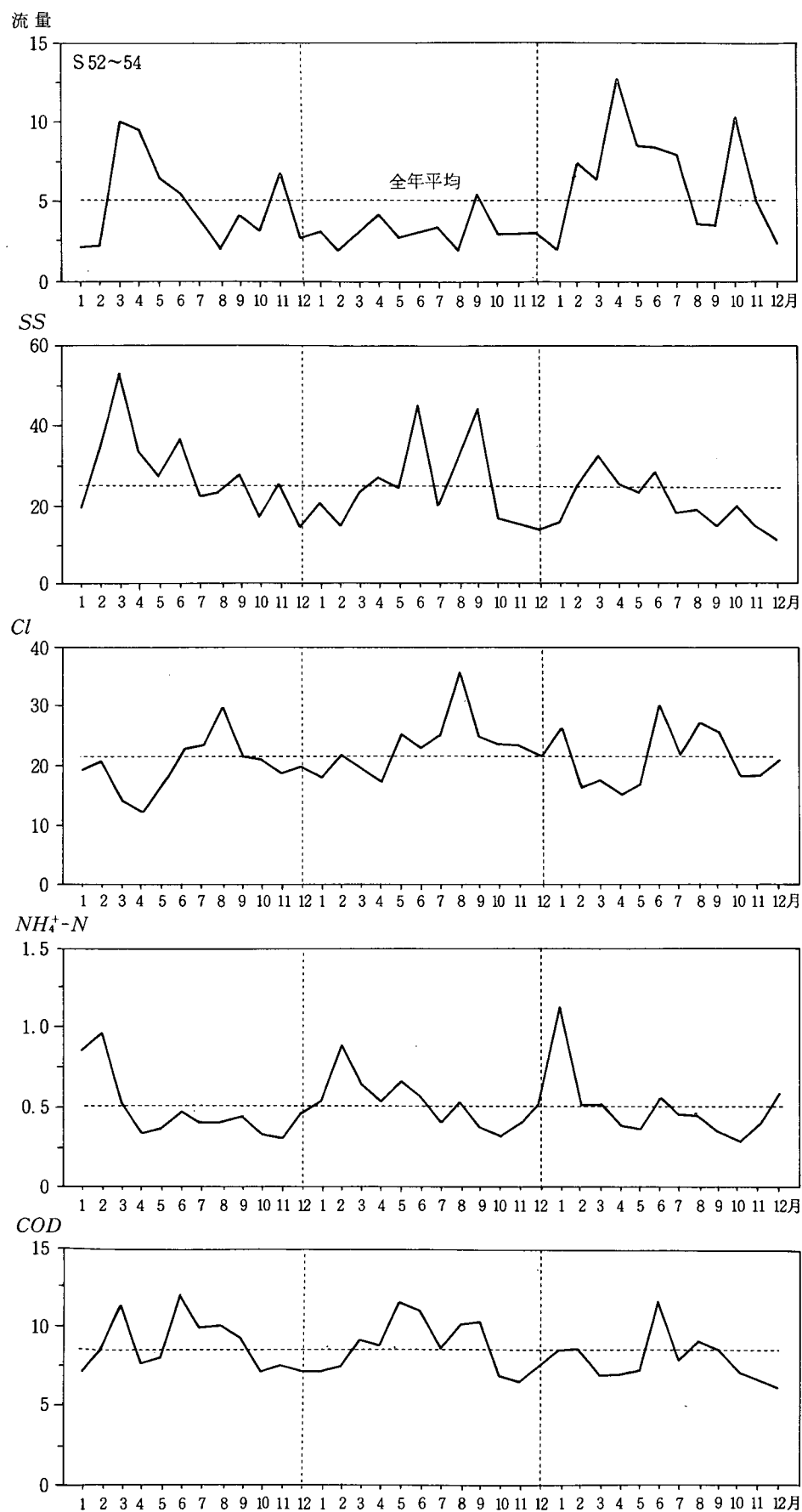


圖-2.9 月 平 均 水 質

次に、各月の因子得点を図-2.11 に示す。同図をみると、各月の因子得点は季節毎に第1, 第2主成分の値が似通っていることがわかる。これは当該流域において、季節内での負荷の貯留状態はほぼ均質であることを示しているものと考えられる。表-2.2 に負荷貯留量からみた各季節の特性を示す。

これらの結果より、(2.18)式の発生負荷量を示す定数 α については、季節単位で負荷量と流量の関係を調べることにより、ある程度推定が可能になるものと考えられる。さらに、ここでは後で行うモデル同定ケースを、季節単位を目安として表-2.3 に示すように14 ケース設定した。なお昭和51年度については、基準地

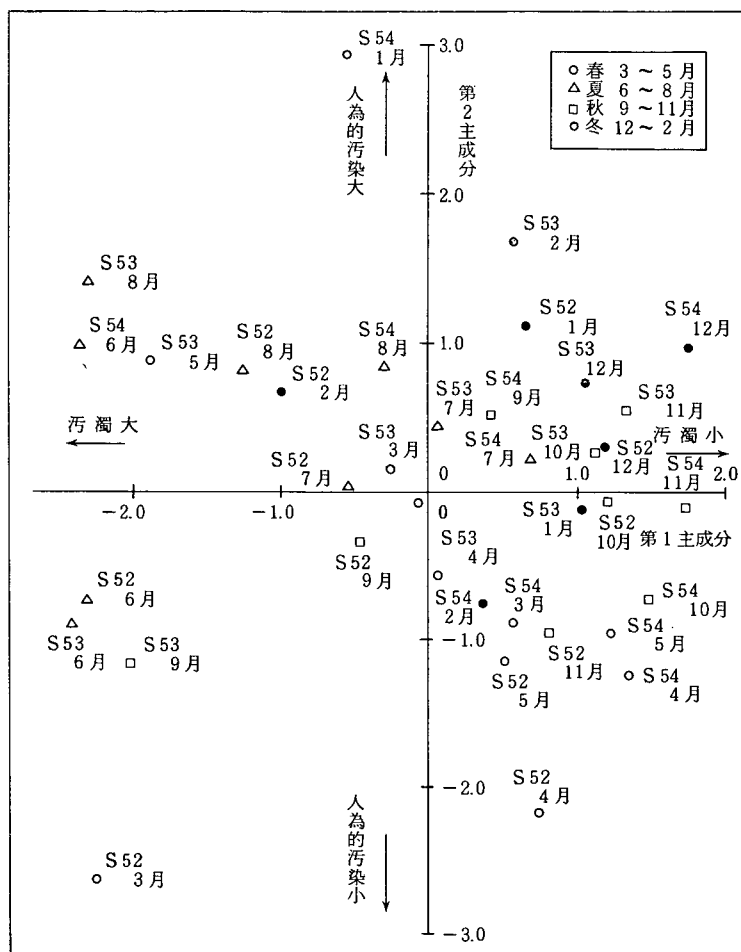


図-2.11 因子得点布置

表-2.2 負荷貯留量からみた季節特性

季節	特 性
夏	全ての負荷貯留量は大きい。
秋	全ての負荷貯留量は小さい。
冬	全体的に負荷貯留量は小さいが、相対的に溶解性の Cl^- , NH_4^+-N に関する負荷量の占める割合が大きくなっている。
春	全体的に負荷貯留量は小さいが、相対的に浮遊性の SS , COD に関する負荷貯留量の占める割合が大きくなっている。

表-2.3 モデル同定ケース

ケース	期 間	季節	ケース	期 間	季節
1	50. 3/14~50. 5/12	春	8	53. 3/18~53. 5/27	春
2	50. 6/ 9~50. 8/ 3	夏	9	53. 6/ 6~53. 7/21	夏
3	50. 9/13~50.11/ 3	秋	10	53. 9/25~53.11/ 9	秋
4	52. 3/10~52. 5/10	春	11	53.11/23~54. 1/ 2	冬
5	52. 6/19~52. 8/17	夏	12	54. 6/18~54. 8/31	夏
6	52. 9/20~52.11/10	秋	13	54. 9/10~54.11/26	秋
7	52.12/12~53. 2/ 2	冬	14	54.11/26~54.12/29	冬

点の日平均流量が得られなかったため同定ケースから除外している。

2) 負荷量と流量の関係について検討

本節では、上述の検討を受けて季節毎に負荷量と流量について回帰分析を行うことにより、定数 α の概略値を推定した。まず(2.18)式において、季節内での KP 値を一定とみなし、各水質項目について表-2.3のケースよりベキ乗分析を行ったところ、 α の値は図-2.12 に示すように得られた。図-2.12 より、 α は水質毎にほぼ一定の値とみられ、その値は表-2.4 に示すように定めることができよう。また、図-2.13 に KP 値の季節変化を示す。同図より、負荷貯留量を示す KP 値は各水質とも季節毎に似通った傾向で定まっており、どの水質についても夏場において値が大きくなっていることがわかる。さらに、浮遊性の SS 、 COD については春が冬より大きく、溶解性の Cl^- 、 NH_4^+-N については逆に冬が春より大きくなっており、これは前述の表-2.2 に示した負荷貯留量からみた季節特性を裏付ける結果と言えるものである。

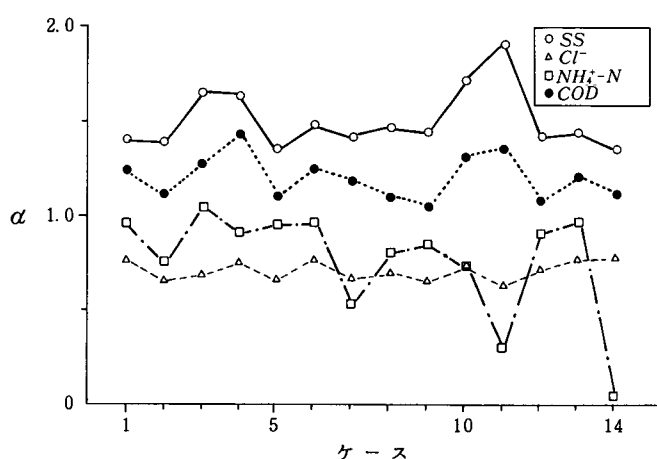


図-2.12 回帰分析による α の分布

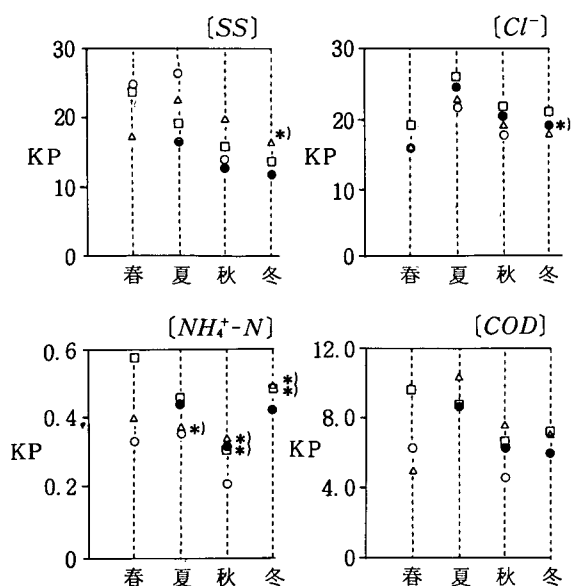


図-2.13 負荷貯留量の季節特性

表-2.4 α の値

	SS	Cl^-	NH_4^+-N	COD
α 値	1.50	0.71	0.76	1.20

○ 昭和50年
△ 昭和52年
□ 昭和53年
● 昭和54年
*) 重相関係数の低い値
($R < 0.8$)

(6) 常微分方程式系の設定

(2.18), (2.19)式は L について次のように変形できる。

$$\dot{L} = -(K \cdot q^a - a \cdot \dot{q}/q) \cdot K + K \cdot d \cdot q^a \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

水質モデルの統計的検討により、定数 a については定められたため、残る未知パラメータは K, d 及び L の初期条件の計 3 個である。

2.3 準線形化手法を援用した水量・水質モデルの同定手法

2.3.1 準線形化と制約条件付非線形最適化手法を組み合わせたモデル同定手法^{2),12),13)}

(1) 概 説

本章では、前章で概説した水量モデル、水質モデルの未知パラメータを準線形化手法を援用した方法により、合理的かつ半ば機械的に決定するモデル同定手法について紹介する。

準線形化手法とは、非線形微分方程式系の境界値問題を、数値計算による求解が極めて容易な線形微分方程式系の初期値問題に近似的に変換し、然る後に、何らかの評価基準のもとで、その初期値（すなわち、もとの関数の未知パラメータ・境界条件・初期条件）を繰り返しの決定するのに効果的な方法である。ここでは、この準線形化手法に制約条件付非線形最適化手法を組み合わせたモデル同定手法を用いることにする。この手法によれば、モデルの物理性を確保し、かつ、モデル同定の収束性を高めるために、未知パラメータの取り得る値の範囲やパラメータ間の相互関係を制約条件として、最適パラメータの探索過程に組み込めるという利点を備えている。

(2) 同定プロセス

上述で提案した、モデル同定手法の基本フローを図 2.14 に示す。以下では、その基本フローに従って各ステップについて概説する。

1) 原問題（非線形連立微分方程式系）の定式化

モデル同定にあたっては、まず、対象とするモデルを構造式のほか、モデルを構成するパラメータが取り得る値の範囲及びパラメータ間の相互関係を勘案して、次のような形式（正規形式）で記述する。

（モデル構造式）

$$x_i = f_i(x(t), t) \quad i=1, \dots, N \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

（制約条件式）

$$l_i \leq x_i(0) \leq u_i \quad i=1, \dots, N \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

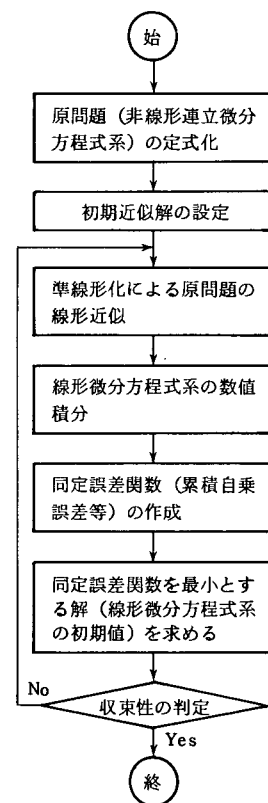


図 2.14 準線形化と非線形最適化手法の組み合わせによるモデル同定手法の基本フロー

$$g_k(x(0)) \geq 0 \quad k=1, \dots, M \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

ここでは、モデルの未知パラメータを時間的に一定な変数と見なして状態変数（河川流出量など）と合わせて、 $x(t)=(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$ と表示している。また、 N ：変数の数、 M ：制約条件式の数、 t ：時間、 f_i ：モデルの構造式、 g_k ：制約条件式、 l_i, u_i はそれぞれ各変数の初期値（未知パラメータ）の下限值と上限値である。

2) 初期近似解の設定

状態変数のうち河川流量など観測値の得られるものについては、観測値時系列を初期近似解 $x_i^{(0)}(t)$ として用いる。その他の変数については、(2.22)式の制約条件の範囲内で一様乱数を発生させ、時間的に一定な初期近似解を機械的に与えるものとする。すなわち、

$$\begin{cases} x_i^{(0)}(t) = x_i^{ob}(t) & i=1, \dots, L \quad \dots\dots\dots (2.24) \\ x_j^{(0)}(t) = l_j + r_j(u_j - l_j) & j=L+1, \dots, N \quad \dots\dots\dots (2.25) \end{cases}$$

ここで、 L ：観測値の得られる状態変数の数、 $x_i^{(0)}(t)$ ：変数 x_i の時刻 t に対応する初期近似値(解)、 $x_i^{ob}(t)$ ：変数 x_i の時刻 t における観測値、 $0 \leq r_j \leq 1$ ：一様乱数である。

3) 準線形化による原問題の線形近似

ここで行う準線形化とは、非線形代数方程式の解法である一般化された *Newton-Raphson* 法を用いて、もとの非線形微分方程式(2.21)式を、次式のように線形近似することである。

$$\dot{x}_i^{(n+1)}(t) = f_i(x^{(n)}(t), t) + \sum_{j=1}^N \frac{\partial f_i(x^{(n)}(t), t)}{\partial x_j} (x_j^{(n+1)}(t) - x_j^{(n)}(t)) \quad (i=1, \dots, N) \quad \dots\dots\dots (2.26)$$

ここで、 $(n), (n+1)$ は近似計算の繰り返し回数を表わす。以上の操作により、モデルの未知パラメータ決定問題は線形微分方程式系の初期値決定問題へと変換されたことになる。

なお、以下の説明を簡単にするため、(2.26)式を $x^{(n+1)}(t)$ について整理し、次のような形に記述できたものと仮定する。

$$\dot{x}^{(n+1)}(t) = A(t) \cdot x^{(n+1)}(t) + B(t) \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

ここで、

$$A(t) = \begin{bmatrix} a_{11}(t), \dots, a_{1N}(t) \\ \vdots \\ a_{N1}(t), \dots, a_{NN}(t) \end{bmatrix}$$

$$B(t) = \begin{bmatrix} b_1(t) \\ \vdots \\ b_N(t) \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

4) 数値積分による線形微分方程式系の求解

(2.26)式あるいは(2.27)式は変数 $x^{(n+1)}(t)$ に関して線形であるから、その特解 $x_p(t)$ と同次解 $x_{hi}(t)$ が求められれば、“重ね合わせの原理”により、一般解 $x^{(n+1)}(t)$ は次式で表わされる。

$$x^{(n+1)}(t) = x_p^{(n+1)}(t) + \sum_{j=1}^N x_j^{(n+1)}(0) \cdot x_{hj}^{(n+1)}(t) \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

ここに、

$$x_p^{(n+1)}(t): x_i(0)=0 \quad (i=1, \dots, N) \text{ を初期条件とする (2.27) 式の解(特解)}$$

$x_{hj}^{(n+1)}(t): x_i(0)=1, x_j(0)=0 (i \neq j)$ を初期条件としたときの

$$\dot{x}^{(n+1)}(t) = A(t) \cdot x^{(n+1)}(t) \dots\dots\dots (2.30)$$

の解 (同次解)。

$x_j^{(n+1)}(0) (j=1, \dots, N): (2.26)$ 式の初期条件 (未知数)

である。これらの解 $x_p^{(n+1)}(t), x_{hi}^{(n+1)}(t)$ を求める常微分方程式の数値積分法としては、比較的精度も高くかつ計算時間も少なくすむとされている Hamming の予測子・修正子法^{14),15)} を用いることにする。

5) 同定誤差関数の設定と新しい初期値の決定

本モデル同定手法においては、(2.29)式における未知の初期条件 $x_i^{(n+1)}(0) (i=1, \dots, N)$ を何らかの評価基準の下で決定し、これをモデルの未知パラメータの $n+1$ 回目の近似解とする。新しい初期条件決定の評価基準としては、まず、観測可能な状態変数の観測値とモデルによる計算値との間の誤差を最小にすることが考えられる。この同定誤差関数として、パラメータが高水部、低水部にかかわらず、均一な精度で同定される累積自乗誤差を用いることにした。すなわち、

$$E = \sum_{i=1}^L \sum_{t=0}^T [(x_i^{ob}(t) - x_i^{cal}(t)) / x_i^{ob}(t)]^2 \dots\dots\dots (2.31)$$

ここに、 $x_i^{cal}(t)$ は状態変数 x_i の時刻 t における計算値であり、(2.29)式から求められる。また、 $[1, T]$ は同定区間である。

さらに誤差関数を $E = E(x(0))$ で表わすと、これは一般に非線形関数であるから、初期条件決定問題は、 $x(0)$ を決定変数とする次のような制約条件付の非線形最適化問題として定式化される。

(評価関数)

$$E = E(x(0)) \longrightarrow \text{minimize} \dots\dots\dots (2.32)$$

(制約条件)

$$l_i \leq x_i(0) \leq u_i \quad i=1, \dots, N \dots\dots\dots (2.33)$$

$$g_k(x(0)) \geq 0 \quad k=1, \dots, M \dots\dots\dots (2.34)$$

この種の問題の数値的解法として、各種の勾配法を中心とするさまざまな手法が提案されている。ここでは、上記最適化問題の構造上の特徴等を考慮して、準線形化手法のもつ簡便さをできる限り損わないように、コンプレックス法 (制約付シンプレックス法)^{16),17)} を解法として用いることにする。その事由は以下のとおりである。

- ① 評価関数である誤差関数が、相対誤差などのように必ずしも微分可能な関数とは限らない。また、たとえ、評価関数が微分可能であっても勾配法のように各繰り返し段階で、1 階あるいは 2 階の導関数を数値的に求めるのは、計算過程上煩雑であると考えられる。
- ② 一方、本最適化問題が、モデルの未知パラメータ決定問題における全体の近似繰り返し計算の 1 過程にすぎず、各繰り返し段階において必ずしも厳密な解が要求されないこと。
- ③ 各決定変数の取り得る上限値・下限値という特徴的な制約条件を簡単に扱うことができること。

制約付シンプレックス法は、非線形最適化手法のうち勾配を利用しない試行探索法の一種であり、シンプレックス (単体) と呼ばれる幾何学図形を、評価関数並びに制約条件の形状に応じて、『鏡映』、『伸長』、『収

縮』、『縮小』などの変形動作を繰り返すことにより、効率的に最適点に漸近させていこうとする方法である。本手法による解法のプロセスの概略フローを図-2.15 に、また、その解の探索プロセスの概念図を図-2.16 に示した。

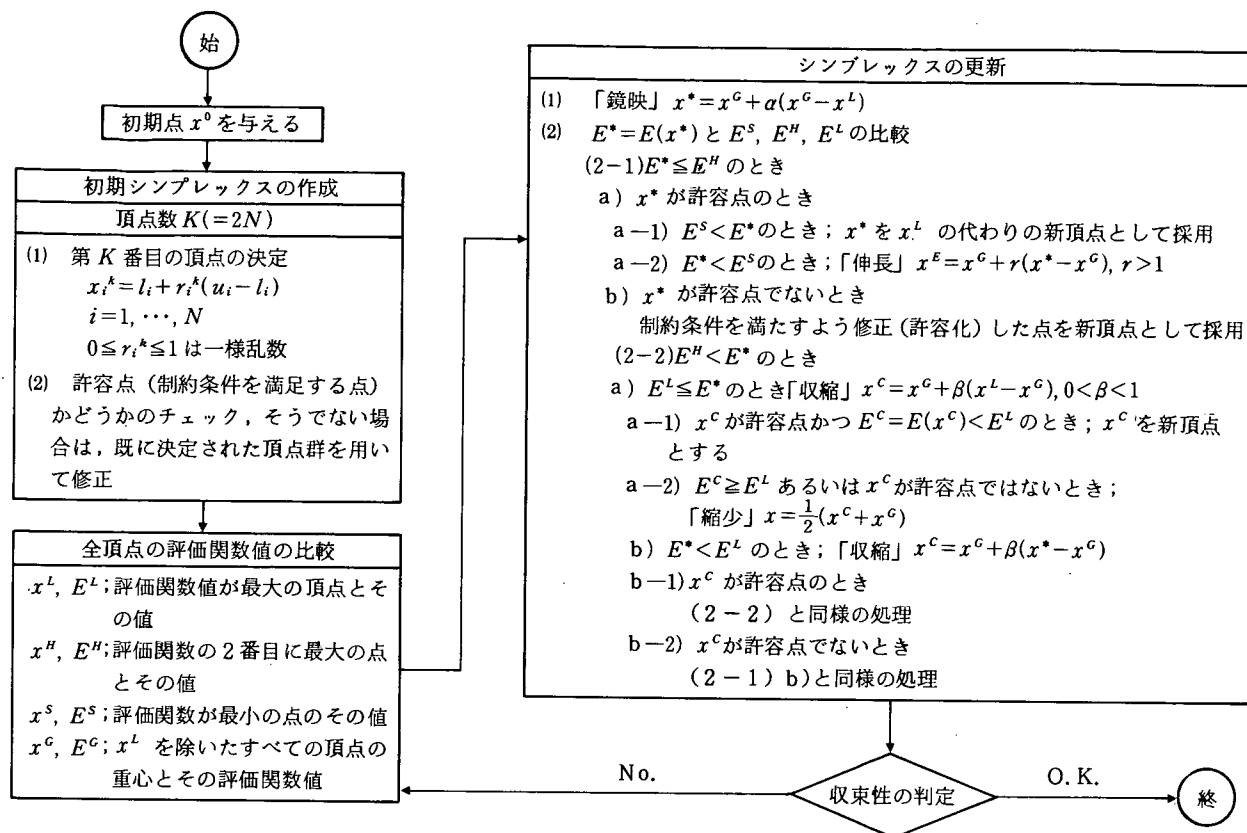


図-2.15 制約付シンプレックス法の解法プロセス

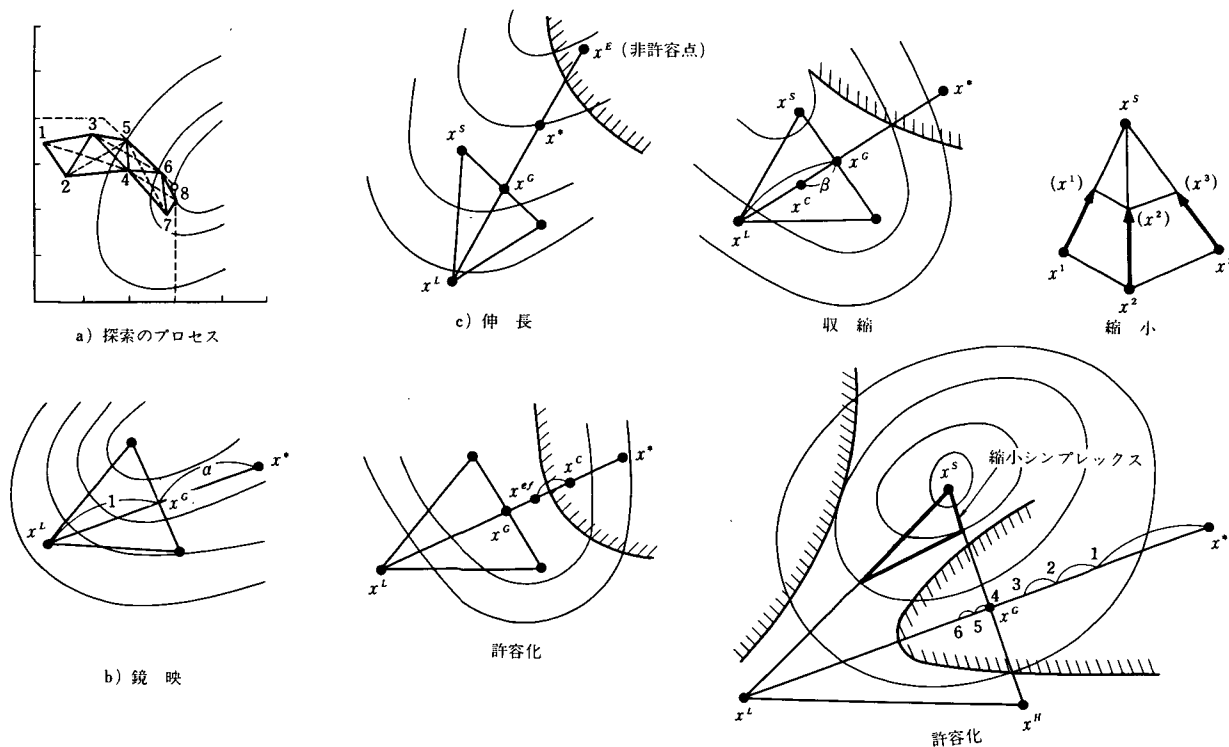


図-2.16 各操作の概念図^{16), 17)}

6) 収束性（終了条件）の判定

本モデル同定の終了条件は次のとおりである。すなわち、連続した P 回の繰り返し段階において、すべての未知パラメータ（初期条件） $x_i(0)$ が次の条件を満足した場合をもって、解の探索が収束したと判断し、モデル同定を終了する。

$$\frac{|x_i^{(m)}(0) - x_i^{(m-1)}(0)|}{\max[|x_i^{(m)}(0)|, |x_i^{(m-1)}(0)|]} \leq \delta \quad (i=1, \dots, N : m=n-P+2, \dots, n, n+1) \dots\dots\dots (2.35)$$

ここでは、各パラメータの値が 5% ($\delta=0.05$) の許容誤差範囲内で 3 回 ($P=3$) 繰り返されたとき、収束したものと判定を行っている。

2.3.2 水量モデルへの同定手法の適用

(1) 準線形化による水量モデルの線形近似

水量モデルにおける未知パラメータは、前章で示したように直接流出をタンクモデル及び貯留関数モデルで定式化した相方のモデルとも、同じく 6 個存在することがわかった。これらの未知パラメータを前節で提示したモデル同定手法により決定するためには、(2.14)～(2.17) 式を (2.26) 式に示すように一般化された *Newton-Raphson* 法により線形近似する必要がある。以下に、2 つのモデル式を線形近似した結果について示す。

1) 直接流出モデルとしてタンクモデルを援用

ここに、未知パラメータを時間的に一定な変数とみなし、また、

$$x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (q_1(t), q_2(t), m, \phi, S_m, e_n) \dots\dots\dots (2.36)$$

とおけば

$$\begin{aligned} \dot{x}_1^{(n+1)} = & -x_3^{(n)} \cdot x_1^{(n)} + r \cdot x_2^{(n)} \cdot x_3^{(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-(n)} + x_2^{(n)} \cdot x_3^{(n)} - x_4^{(n)} \cdot x_2^{(n)} - r \cdot x_5^{-(n)} \cdot x_2^{(n)} \\ & + x_4^{(n)} \cdot r - x_4^{(n)} \cdot x_6^{(n)} \cdot E_p \\ & + (x_1^{(n+1)} - x_1^{(n)}) \cdot (-x_3^{(n)}) \\ & + (x_2^{(n+1)} - x_2^{(n)}) \cdot (r \cdot x_3^{(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-(n)} + x_3^{(n)} - x_4^{(n)} - r \cdot x_5^{-(n)}) \\ & + (x_3^{(n+1)} - x_3^{(n)}) \cdot (-x_1^{(n)} + r \cdot x_2^{(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-(n)} + x_2^{(n)}) \\ & + (x_4^{(n+1)} - x_4^{(n)}) \cdot (-r \cdot x_2^{(n)} \cdot x_3^{(n)} \cdot x_4^{-2(n)} \cdot x_5^{-(n)} - x_2^{(n)} + r - x_6^{(n)} \cdot E_p) \\ & + (x_5^{(n+1)} - x_5^{(n)}) \cdot (-r \cdot x_2^{(n)} \cdot x_3^{(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-2(n)} + r \cdot x_5^{-2(n)} \cdot x_2^{(n)}) \\ & + (x_6^{(n+1)} - x_6^{(n)}) \cdot (-x_4^{(n)} \cdot E_p) \dots\dots\dots (2.37) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_2^{(n+1)} = & -x_4^{(n)} \cdot x_2^{(n)} - r \cdot x_5^{-(n)} \cdot x_2^{(n)} + x_4^{(n)} \cdot r - x_4^{(n)} \cdot x_6^{(n)} \cdot E_p \\ & + (x_2^{(n+1)} - x_2^{(n)}) \cdot (-x_4^{(n)} - r \cdot x_5^{-(n)}) \\ & + (x_4^{(n+1)} - x_4^{(n)}) \cdot (-x_2^{(n)} + r - x_6^{(n)} \cdot E_p) \\ & + (x_5^{(n+1)} - x_5^{(n)}) \cdot (r \cdot x_5^{-2(n)} \cdot x_2^{(n)}) \\ & + (x_6^{(n+1)} - x_6^{(n)}) \cdot (-x_4^{(n)} \cdot E_p) \dots\dots\dots (2.38) \end{aligned}$$

$$\dot{x}_i^{(n+1)} = 0 \quad (i=3, \dots, 6) \dots\dots\dots (2.39)$$

2) 直接流出モデルとして貯留関数モデルを援用

1) と同様に、

$$x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) = (q(t), q_2(t), K, \phi, S_m, e_n) \dots\dots\dots (2.40)$$

とおけば

$$\begin{aligned} \dot{x}_1^{(n+1)} = & \frac{r}{P \cdot x_3^{(n)} \cdot x_4^{(n)} \cdot x_5^{(n)}} \cdot x_2^{(n)} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{1-p} - \frac{1}{P \cdot x_3^{(n)}} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{2-p} - x_4^{(n)} \cdot x_2^{(n)} \\ & - r \cdot x_5^{-(n)} \cdot x_2^{(n)} + x_4^{(n)} \cdot r - x_4^{(n)} \cdot x_6^{(n)} \cdot E_p \\ & + (x_1^{(n+1)} - x_1^{(n)}) \cdot [r \cdot (1-p) \cdot P^{-1} \cdot x_3^{-(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-(n)} \cdot x_2^{(n)} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{-p} - P^{-1} \cdot (2-P) \\ & \quad \cdot x_3^{-(n)} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{1-p}] \\ & + (x_2^{(n+1)} - x_2^{(n)}) \cdot [r \cdot P^{-1} \cdot x_3^{-(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-(n)} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{1-p} - r \cdot P^{-1} \cdot x_3^{-(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-(n)} \\ & \quad \cdot x_2^{(n)} \cdot (1-P) \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{-p} + P^{-1} \cdot x_3^{-(n)} \cdot (2-P) \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{1-p} - x_4^{(n)} - r \cdot x_5^{-(n)}] \\ & + (x_3^{(n+1)} - x_3^{(n)}) \cdot [-r \cdot P^{-1} \cdot x_3^{-2(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-(n)} \cdot x_2^{(n)} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{1-p} + P^{-1} \cdot x_3^{-2(n)} \\ & \quad \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{2-p}] \\ & + (x_4^{(n+1)} - x_4^{(n)}) \cdot [-r \cdot P^{-1} \cdot x_3^{-(n)} \cdot x_4^{-2(n)} \cdot x_5^{-(n)} \cdot x_2^{(n)} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{1-p} - x_2^{(n)} + r - x_6^{(n)} \\ & \quad \cdot E_p] \\ & + (x_5^{(n+1)} - x_5^{(n)}) \cdot [-r \cdot P^{-1} \cdot x_3^{-(n)} \cdot x_4^{-(n)} \cdot x_5^{-2(n)} \cdot x_2^{(n)} \cdot (x_1^{(n)} - x_2^{(n)})^{1-p} + r \cdot x_5^{-2(n)} \cdot x_2^{(n)}] \\ & + (x_6^{(n+1)} - x_6^{(n)}) \cdot (-x_4^{(n)} \cdot E_p) \dots\dots\dots (2.41) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_2^{(n+1)} = & -x_4^{(n)} \cdot x_2^{(n)} - r \cdot x_5^{-(n)} \cdot x_2^{(n)} + x_4^{(n)} \cdot r - x_4^{(n)} \cdot x_6^{(n)} \cdot E_p \\ & + (x_2^{(n+1)} - x_2^{(n)}) \cdot (-x_4^{(n)} - r \cdot x_5^{-(n)}) \\ & + (x_4^{(n+1)} - x_4^{(n)}) \cdot (-x_2^{(n)} + r - x_6^{(n)} \cdot E_p) \\ & + (x_5^{(n+1)} - x_5^{(n)}) \cdot (r \cdot x_5^{-2(n)} \cdot x_2^{(n)}) \\ & + (x_6^{(n+1)} - x_6^{(n)}) \cdot (-x_4^{(n)} \cdot E_p) \dots\dots\dots (2.42) \end{aligned}$$

$$\dot{x}_i^{(n+1)} = 0 \quad (i=3, \dots, 6) \dots\dots\dots (2.43)$$

ここで、添字(n)は近似計算の繰返し回数を表わす。

(2) モデル同定に際してのパラメータの制約条件

パラメータの決定において、準線形化による繰返し過程での解の発散を防ぐよう物理性を考慮して、各パラメータの下限値、上限値を表-2.5に示すように設定した。なお、同表に示すように制約範囲を定めた事由は、以下に述べるとおりである。

表-2.5 水量モデルにおける
各パラメータの制約範囲

No	パラメータ	下 限 値	上 限 値
1	$q(0)$	0.5	2.0
2	$q_2(0)$	0.4	2.0
3	m	0.2	0.8
3	K	1.0	10.0
4	ϕ	0.001	0.1
5	S_m	100.0	9,999.0
6	e_n	0.1	2.0

① $q(0)$ 及び $q_2(0)$ は、同定区間の初期流量が低水部にくるように配慮し、実測流量資料より範囲を設定した。

② m , ϕ 及び e_n については、これまでの検討結果^{2),12)}を参照して設定範囲を決定した。また、 K の値のオーダーは m の逆数と考えられることから、 m を 0.1~1.0 と考え、 K を 1.0~10.0 と設定した。

③ S_m については、 $\phi \cdot S_2 = q_2$ ((2.8)式参照)において、 q_2 が最高 10 mm/day と仮定し、 ϕ の範囲を考慮して設定した。

さらに、パラメータ間の大小関係は下記のように設定している。

$$q(0) \geq q_2(0) \quad \dots\dots\dots (2.44)$$

2.3.3 水質モデルへの同定手法の適用

(1) 準線形化によるモデル同定

水質モデルを現わす(2.18)、(2.19)式は、 α 値が前章において定められたことから、単に回帰分析によって K 値、 d 値を定めることも可能である。すなわち、

(2.18)、(2.19)式は、次のように離散化できる。

$$\frac{L_{i+1}}{q_{i+1}^\alpha} = K \cdot P_0 + K \cdot d \cdot i - K \cdot \sum_{i=1}^i L_i \quad \dots\dots\dots (2.45)$$

ここに、 i : 日、 P_0 : 初期負荷貯留量(g/m²)

そこで、 L_{i+1}/q_{i+1}^α を説明変数とし、 i 及び $\sum_{i=1}^i L_i$ を説明変数とした重回帰分析により K , P_0 , d の決定が可能となる。しかしながら、この場合流量もしくは水質データの日観測資料に欠測がある場合には適用できない。

そこで本調査では、データの欠測がある場合でも自動的にパラメータの推定が行うことができる点で実用上優れているといえる、準線形化手法を用いたモデル同定手法により水質モデルの同定を試みることにした。ここで、水量モデルの場合と同様に、本モデルの(2.20)式を *Newton-Raphson* 法により線形近似すれば、以下のように表わされる。すなわち、

$$x = (x_1, x_2, x_3) = (L(t), K, d) \quad \dots\dots\dots (2.46)$$

として、

$$\begin{aligned} \dot{x}_1^{(n+1)} = & x_2^{(n)} \cdot x_3^{(n)} \cdot q^\alpha - x_2^{(n)} \cdot x_1^{(n)} \cdot q^\alpha + x_1^{(n)} \cdot \alpha \cdot \dot{q}/q \\ & + (x_1^{(n+1)} - x_1^{(n)}) \cdot (-x_2^{(n)} \cdot q^\alpha + \alpha \cdot \dot{q}/q) \\ & + (x_2^{(n+1)} - x_2^{(n)}) \cdot (x_3^{(n)} \cdot q^\alpha - x_1^{(n)} \cdot q^\alpha) \\ & + (x_3^{(n+1)} - x_3^{(n)}) \cdot (x_2^{(n)} \cdot q^\alpha) \quad \dots\dots\dots (2.47) \end{aligned}$$

$$\dot{x}_2^{(n+1)} = \dot{x}_3^{(n+1)} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.48)$$

(2) モデル同定に際してのパラメータの制約条件

水質モデル同定に際してのパラメータの制約条件は、以下のとおりとした。

① 負荷量 L の初期値は、実測値を考慮して表-2.6 に示すように設定した。

② 流出率をあらわす K 値は、1.0 以下であることから全ての指標について、次のように設定した。

$$0.001 \leq K \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (2.49)$$

表－2.6 負荷量Lの初期値

水 質	制 約 範 囲
SS	$5.0 \leq L \leq 40.0$
Cl ⁻	$5.0 \leq L \leq 50.0$
NH ₄ ⁺ - N	$0.05 \leq L \leq 1.0$
COD	$1.0 \leq L \leq 15.0$

表－2.7 発生負荷量dの初期値

水 質	制 約 範 囲
SS	$0.001 \leq d \leq 100.0$
Cl ⁻	$0.001 \leq d \leq 50.0$
NH ₄ ⁺ - N	$0.001 \leq d \leq 1.0$
COD	$0.001 \leq d \leq 15.0$

③ 発生負荷量をあらわす d 値は、初期流出負荷量程度の値であることが予想されることから、表－2.7 に示すように設定した。

2.4 実流域への適用とその結果

前章で非線形連立微分方程式系として定式化された水量モデル及び水質モデルを、同じく前章で紹介した準線形化と制約条件付非線形最適化手法を組み合わせたモデル同定手法を用いて実流域に適用し、その妥当性・有用性について検討を加えた。なお、対象流域は最初に述べたように近畿地方に位置する A 川流域である。

2.4.1 水量モデルの実流域への適用結果

A 川流域を対象として、タンクモデル並びに貯留関数モデルを援用した 2 つの水量モデルの未知パラメータ決定を試みた。モデル同定ケースは、水質モデルの場合と同じく表－2.3 に示した季節単位を目安とする 14 ケースを用いる。以下、本モデル同定手法を実流域へ適用した結果について述べる。

(1) 初期近似解の同定結果への影響

モデル同定を試みるにあたり、まず最初に与えられる未知パラメータの初期近似解は、前述のように河川流量、地下水流出量^{*)}など観測値の得られるものは初期観測値を、それ以外の変数については制約条件の範囲内で一様乱数を発生させ機械的に初期近似解を決定している。このため、一様乱数による初期近似解の設定値しだいでは、最適パラメータに漸近する途中にてモデル同定が終了することも懸念される。そこで。ここでは一様乱数を発生させるに際して与える乱数の初期値 LI を、次のように 9 通り設定した。

$$LI = (11, 111, 22, 222, \dots, 99, 999) \dots\dots\dots (2.50)$$

LI の違いによるモデル同定結果の一例を表－2.8、図－2.17 に示す。これらの結果より、上記で懸念されたとおり、最初の初期近似解の値によってはパラメータの探索途中にて発散^{**)}したり、出力結果に物理性が保たれないまま終了するケースが得られた。また、同定誤差関数の最終値においても初期近似解の違いにより、結果にかなりの差異がみられる。

以上より、モデル同定における収束性及び同定精度は LI (初期近似解) に大きく左右されることがわかった。ここでは、このような事態を回避し最適なパラメータ値を得るため、各同定ケースにおいて累積自乗誤

*) ここに地下水流出量の初期近似解は、河川流量の初期観測値の半分であるとして設定している。

**) 繰り返し計算の途中、数値積分や連立一次方程式の求解において、変数や係数などの数値が $\pm 10^{20}$ 指数を超えたとき発散と見なし、その時点で計算を打ち切っている。

表-2.8(a) LI の違いによる収束性の比較
〔タンクモデル, ケース5〕

〔 $\times 11, 111$ 〕									
LI	1	2	3	4	5	6	7	8	9
収束回数	10	15	13	10	12	11	17	12	8
物理性	○	○	×	○	○	×	×	○	×

注1) 収束回数とは、解の収束までの計算繰返し回数である。 $\times$ 印は途中で発散したケースを示す。

注2) 物理性の欄の $\times$ 印は、得られた全流出量及び地下水流出力の少なくとも1つが負の値をとったケースを指す。

表-2.8(b) LI の違いによる収束性の比較
〔貯留関数モデル, ケース8〕

〔 $\times 11, 111$ 〕									
LI	1	2	3	4	5	6	7	8	9
収束回数	×	12	7	7	9	18	10	×	7
物理性	—	○	○	○	×	×	×	—	×

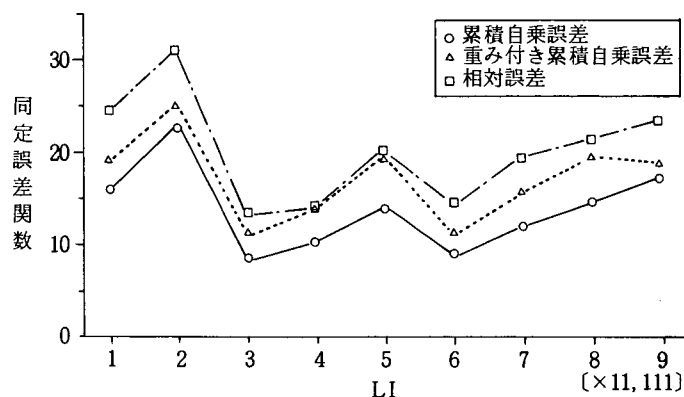


図-2.17(a) LI の違いによる同定誤差関数の推移〔タンクモデル, ケース6〕

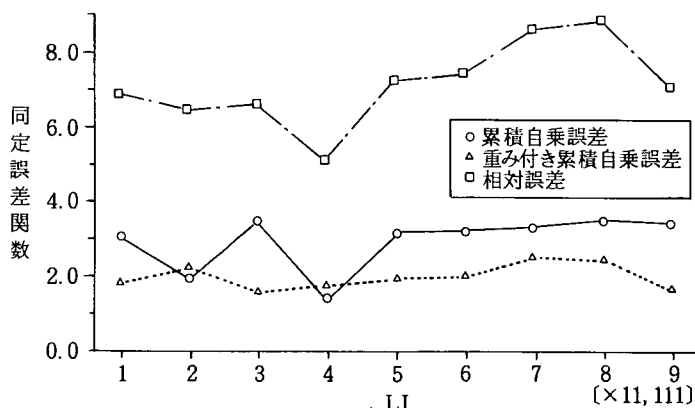


図-2.17(b) LI の違いによる同定誤差関数の推移〔貯留関数モデル, ケース11〕

差等を考慮し、(2.50) 式の中で最適と思われる LI を表-2.9 に示すように設定した。

(2) モデル同定手法の収束性

表-2.9 に示す LI を用いて行ったモデル同定結果を表-2.10, 図-2.18~2.19 に示す。表-2.10 より、

タンクモデル及び貯留関数モデルを援用した相方のモデルとも全ケースにおいて計算繰返し回数 (50 回) 内で、未知パラメータの収束値が得られた。また、これらのケースの中で、出力結果に物理性が保たれていないケースは 1 ケースもみられなかった。さらに、同定誤差関数値も全体的に小さく、相関係数についてもかなり高い結果が得られた。図-2.18 は、未知パラメータの収束過程を示したものである。各パラメータ値

表-2.9 LI の設定

a) タンクモデル 〔 $\times 11, 111$ 〕

ケース	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
LI	3	8	5	7	5	3	5	7	8	5	7	6	8	8

b) 貯留関数モデル 〔 $\times 11, 111$ 〕

LI	8	8	1	8	4	2	4	4	8	4	4	6	3	4
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

表-2.10(a) 水量モデル同定結果の一覧 (タンクモデル)

ケース	同 定 区 間	季節	区間長 (日)	収束回数 (回)	最 終 パ ラ メ ー タ 値						同定誤差関数			相 関 係 数
					$q(0)$	$q_2(0)$	m	ϕ	S_m	e_n	(1)	(2)	(3)	
1	50/ 3/14~50/ 5/12	春	60	20	1.329	0.661	0.510	0.024	102.0	1.019	1.09	0.19	0.30	0.902
2	50/ 6/ 9~50/ 8/ 3	夏	56	5	0.996	0.786	0.585	0.007	204.0	1.166	6.65	1.72	0.75	0.825
3	50/ 9/13~50/11/ 3	秋	52	13	1.114	0.884	0.572	0.023	245.0	1.112	1.13	0.22	0.28	0.854
4	52/ 3/10~52/ 5/10	春	62	15	1.489	0.973	0.592	0.039	102.0	0.915	2.09	0.27	0.36	0.899
5	52/ 6/19~52/ 8/17	夏	60	12	1.340	1.268	0.609	0.033	140.0	0.410	0.67	0.38	0.46	0.901
6	52/ 9/20~52/11/10	秋	52	16	0.853	0.587	0.723	0.009	425.0	0.910	0.16	0.22	0.26	0.912
7	52/12/12~53/ 2/ 2	冬	53	26	0.665	0.631	0.502	0.020	168.0	0.903	0.03	0.04	0.13	0.928
8	53/ 3/18~53/ 5/27	春	71	6	0.833	0.440	0.678	0.020	141.0	0.594	0.25	0.21	0.28	0.873
9	53/ 6/ 6~53/ 7/21	夏	46	6	0.907	0.831	0.597	0.004	430.0	1.138	13.26	8.11	1.02	0.834
10	53/ 9/25~53/11/ 9	秋	46	20	0.771	0.597	0.531	0.015	261.0	0.743	0.08	0.07	0.20	0.893
11	53/11/23~54/ 1/ 2	冬	41	23	0.666	0.606	0.443	0.014	277.0	1.416	0.03	0.03	0.11	0.917
12	54/ 6/18~54/ 8/31	夏	75	14	1.192	1.124	0.447	0.013	138.0	0.683	3.26	2.32	0.71	0.932
13	54/ 9/10~54/11/26	秋	78	11	1.367	1.238	0.775	0.008	102.0	1.587	6.68	0.92	0.70	0.853
14	54/11/26~54/12/29	冬	34	7	0.963	0.872	0.370	0.009	740.0	1.138	0.004	0.005	0.06	0.923

注 1) 同定誤差関数は、順に累積自乗誤差、重み付き累積自乗誤差、相対誤差の平均値である。

表-2.10(b) 水量モデル同定結果の一覧 (貯留関数モデル)

ケース	同 定 区 間	季節	区間長 (日)	収束回数 (回)	最 終 パ ラ メ ー タ 値						同定誤差関数			相 関 係 数
					$q(0)$	$q_2(0)$	K	ϕ	S_m	e_n	(1)	(2)	(3)	
1	50/ 3/14~50/ 5/12	春	60	12	1.279	1.223	6.636	0.029	105.0	1.249	1.03	0.16	0.30	0.909
2	50/ 6/ 9~50/ 8/ 3	夏	56	7	1.071	0.831	6.110	0.007	188.0	1.136	5.59	1.32	0.64	0.858
3	50/ 9/13~50/11/ 3	秋	52	6	1.928	1.928	4.482	0.002	5,716.0	0.761	2.03	0.88	0.61	0.745
4	52/ 3/10~52/ 5/10	春	62	6	0.990	0.718	6.794	0.007	150.0	1.261	1.83	0.23	0.32	0.911
5	52/ 6/19~52/ 8/17	夏	60	8	1.267	0.933	5.574	0.008	238.0	0.680	0.70	0.31	0.44	0.898
6	52/ 9/20~52/11/10	秋	52	5	0.930	0.776	2.354	0.001	5,149.0	0.576	0.24	0.45	0.52	0.894
7	52/12/12~53/ 2/ 2	冬	53	17	0.805	0.615	3.892	0.012	175.0	1.293	0.03	0.04	0.16	0.934
8	53/ 3/18~53/ 5/27	春	71	7	0.852	0.492	3.739	0.006	365.0	0.658	0.22	0.17	0.29	0.888
9	53/ 6/ 6~53/ 7/21	夏	46	7	0.916	0.848	4.630	0.003	588.0	1.121	8.94	4.76	0.88	0.894
10	53/ 9/25~53/11/ 9	秋	46	8	0.854	0.411	3.660	0.003	822.0	0.484	0.06	0.03	0.12	0.918
11	53/11/23~54/ 1/ 2	冬	41	10	0.960	0.529	3.440	0.004	590.0	0.972	0.03	0.04	0.12	0.922
12	54/ 6/18~54/ 8/31	夏	75	23	1.459	1.362	5.593	0.005	423.0	0.885	3.68	3.57	1.07	0.933
13	54/ 9/10~54/11/26	秋	78	6	1.407	0.840	7.340	0.001	1,261.0	0.554	7.13	1.59	1.08	0.890
14	54/11/26~54/12/29	冬	34	7	1.058	0.745	3.991	0.008	613.0	0.843	0.004	0.005	0.05	0.904

最初の 1~2 回程度の繰り返し計算において急激に変化した後、徐々に変化しながら収束に向かっていることがわかる。一方、図-2.19 は、未知パラメータ探索に伴う同定誤差関数値の変化状況を示したものである。未知パラメータ値の変化状況と同様、誤差関数値も、最初の 2 回程度の繰り返し計算において急激に減少・改善され、それ以降の変動は終了に近づくに従い少なくなっているようにみられる。このとき未知パラメータ値及び誤差関数値は、必ずしも単調変化（減少）を行うとは限らないことが認められる。

以上までの結果より、本モデル同定手法による未知パラメータ値の機械的推定における収束性の良好さが立証されたものと思われる。また、計算時間^{*}) についてみれば、両モデルとも通常 10 秒以下で未知パラメータの最終的な推定値を得ることができた。

^{*}) 計算時間は、建設省土木研究所電子計算機 HITAC M-280 H によるものである。

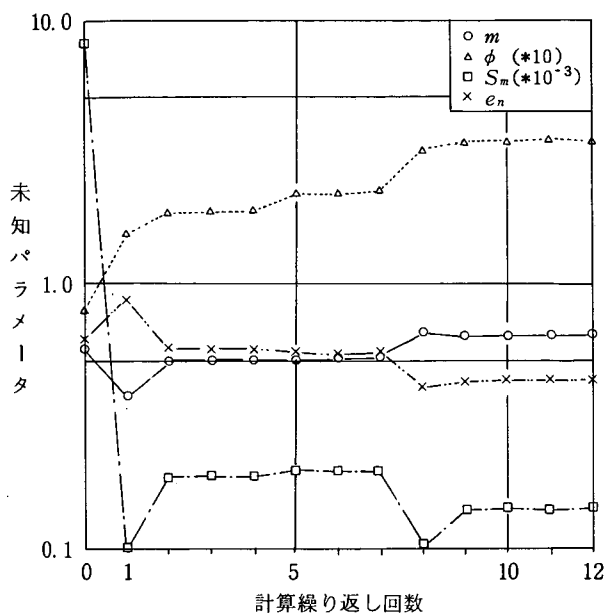


図-2.18(a) 未知パラメータの収束過程（タンクモデル，ケース5）

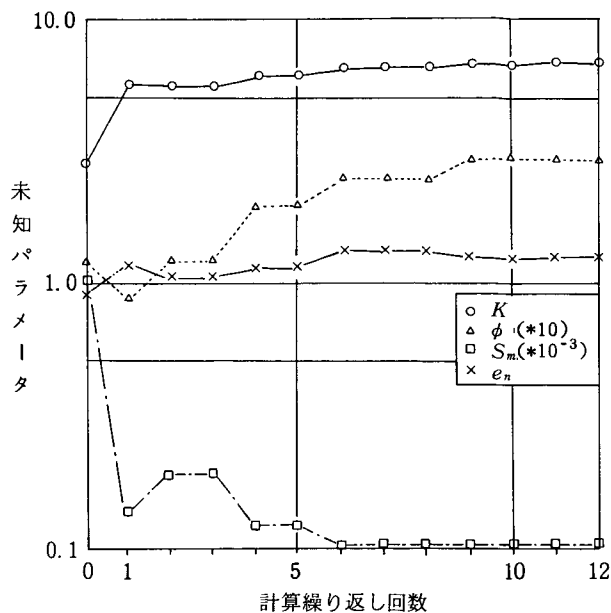


図-2.18(b) 未知パラメータの収束過程（貯留関数モデル，ケース1）

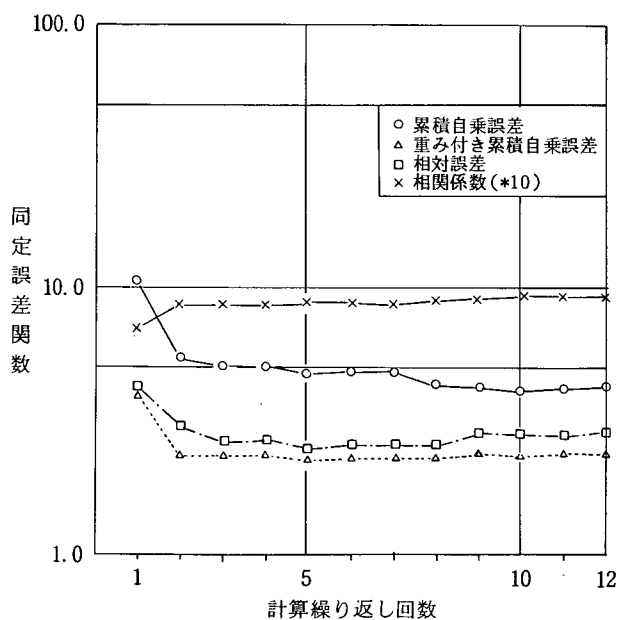


図-2.19(a) 同定誤差関数の変化過程（タンクモデル，ケース5）

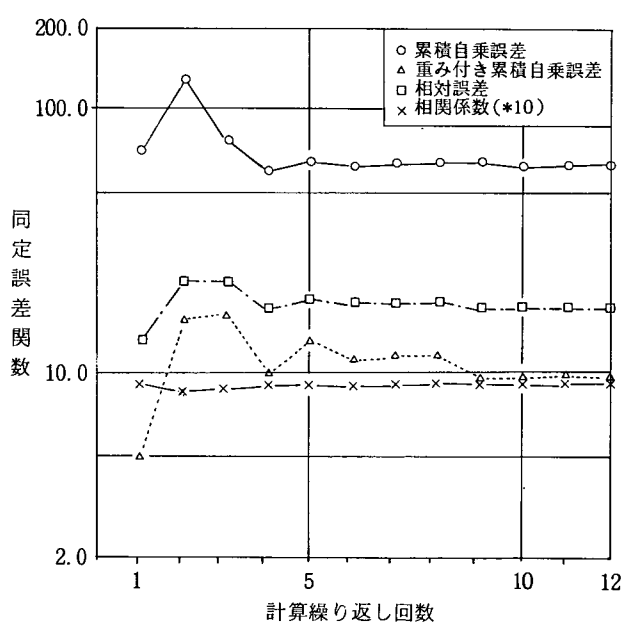


図-2.19(b) 同定誤差関数の変化過程（貯留関数モデル，ケース1）

(3) モデル同定手法の有効性

図-2.20 に、各ケースにおけるモデル同定の結果得られたパラメータの分布状況を示す。図-2.20 より、まず季節単位でみると貯留関数モデルのパラメータ S_m に若干の季節的な特性がみられるものの、相対的にみれば水量モデルのパラメータは季節的な特性には影響を受けていないように思われる。一方、全体的にみて低減係数 ϕ や S_m などのパラメータは同定区間によってかなりばらついていることがわかる。この原因としては、①各同定区間による降雨～流出の応答関係の変化、②作成した水量モデルの構造上の限界、③モデ

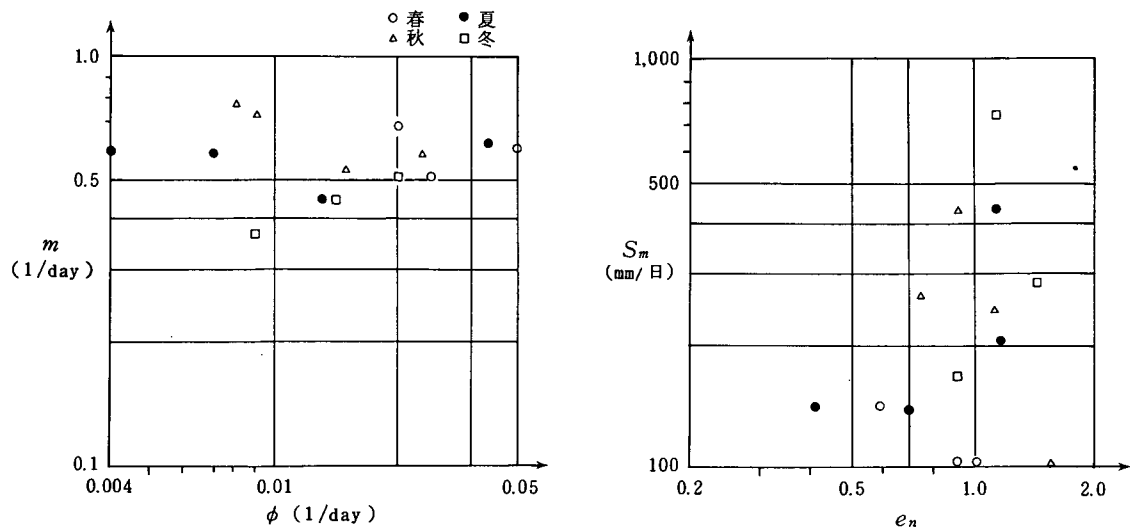


図-2.20(a) モデル・パラメータの推定値の分布
(タンクモデル)

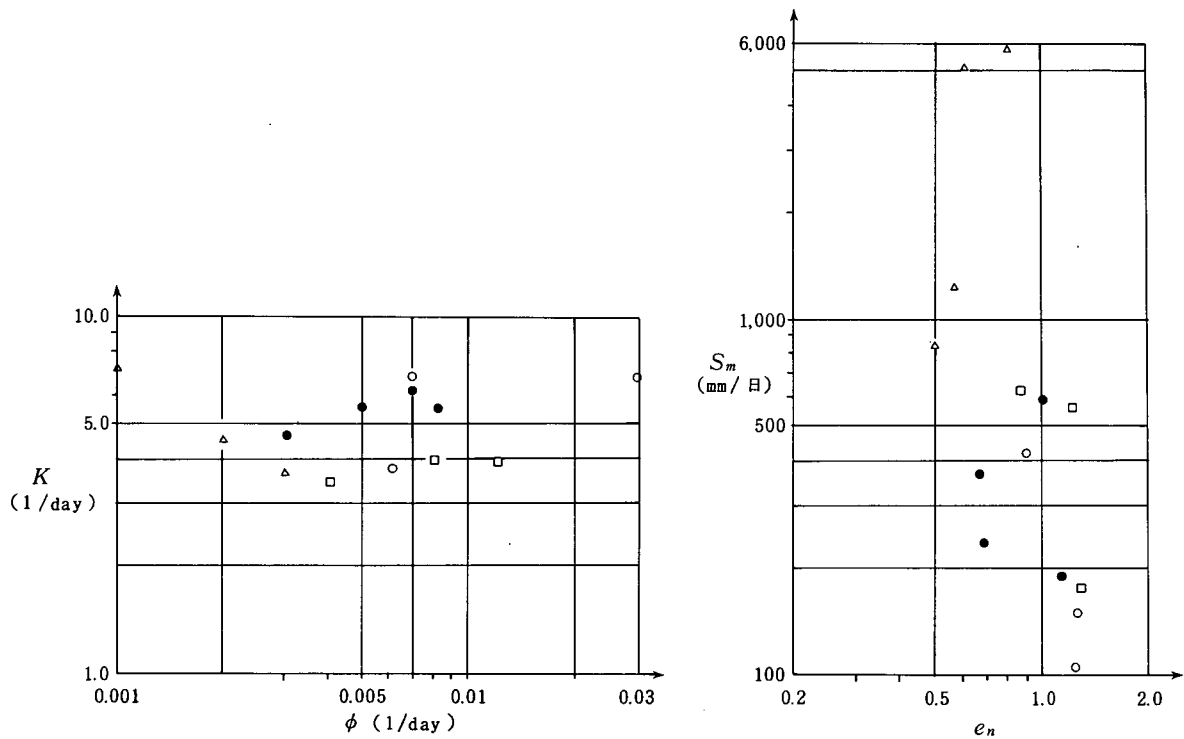


図-2.20(b) モデル・パラメータの推定値の分布
(貯留関数モデル)

ル同定手法の問題などが考えられる。これらのうち③に関しては、同定誤差を最小にするという観点からみて、本モデル同定手法が全域的な最適解ではなく、局所的な最適パラメータを探索している可能性が挙げられる。また、②に関しては、空間的にも時間的にも複雑な応答特性をもつ流域の降雨流出現象を、単純な数理モデルで表現しようとする限り回避できない問題と思われる。このようなパラメータ間のばらつきを少なくすることは、実用上重要な課題である。しかしながら、この問題にこだわるあまり大幅に同定精度を劣したり、収束性を損なう（発散したり出力結果が負になることを指す）ことになれば、逆にモデルの実用上の利用価値が落ちるのではないかと危惧される。そこで、本モデルの構造上及び実用上の簡便さ、並びに日々

の流水管理における水循環要素の推定及び短期的予測という本モデルの適用目的と、それに応じた精度の良さを考慮したとき、本水量モデルの有効性と実用性は十分に証明できるものであろう。

図-2.21～2.22 には、モデル同定結果におけるハイドログラフの推定結果の一例を示す。同図より、相方のモデルとも全流出量の実測値と計算値はかなり一致しているようにみられ、本モデル同定手法は再現性の面からも十分実用上に耐えうるものと考えられる。

(4) 水量モデルの比較・検証

タンクモデル及び貯留関数モデルを援用した水量モデルのうち、比較的良好な適合性を示した下記の2同定区間について、その同定結果を比較・検証する。

a) 昭和52年12月12日～53年2月2日(ケース7)

b) 昭和53年11月23日～54年1月2日(ケース11)

モデル同定により推定された両区間の水収支関係を表-2.11に、両モデルによるa)の同定区間の同定ハイドログラフを図-2.23に示す。これまでの結果より、両モデルについて次のようなことが考察される。

① まず、全流出量については表-2.11、図-2.23及び表-2.10の同定誤差関数値より、両モデルとも推定精度にほとんど差がなく、実際現象をほぼ良好に再現しているように思われる。ただし、本モデルは低水流出予測に重点を置いたモデルとして作成したため、流出現象の表現能力において低水部に比べ高水部の方が若干劣っているようにみられる。

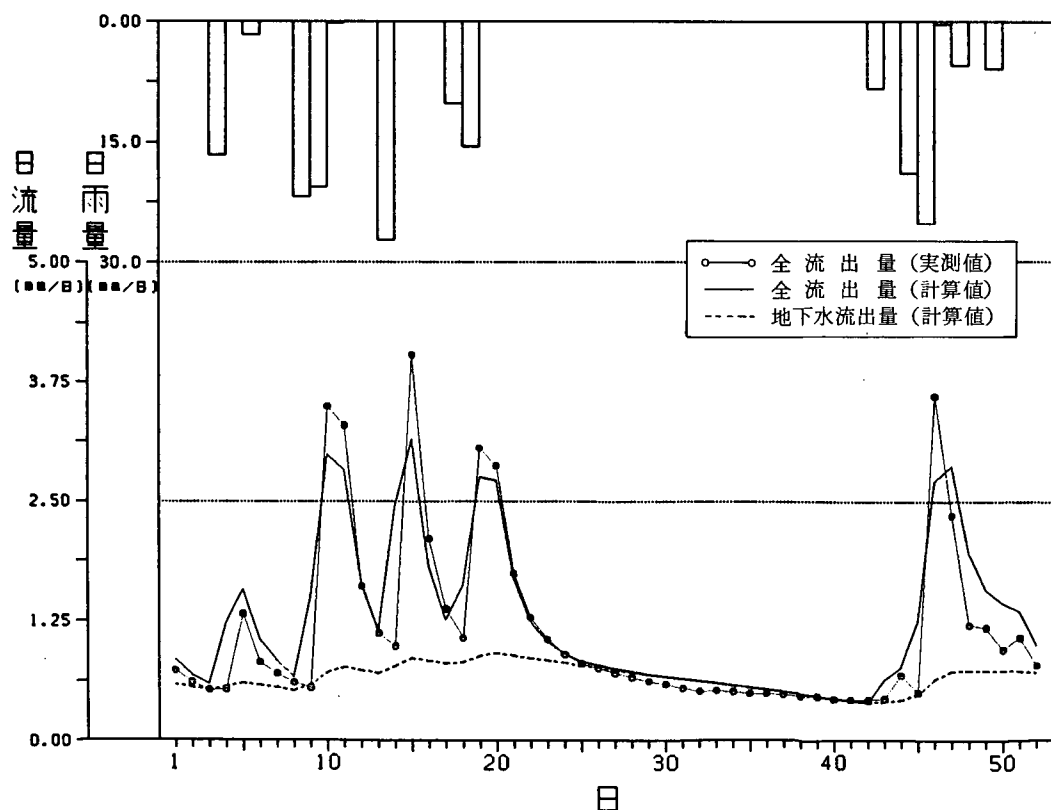


図-2.21(a) モデル同定結果の例〔タンクモデル・ケース6〕

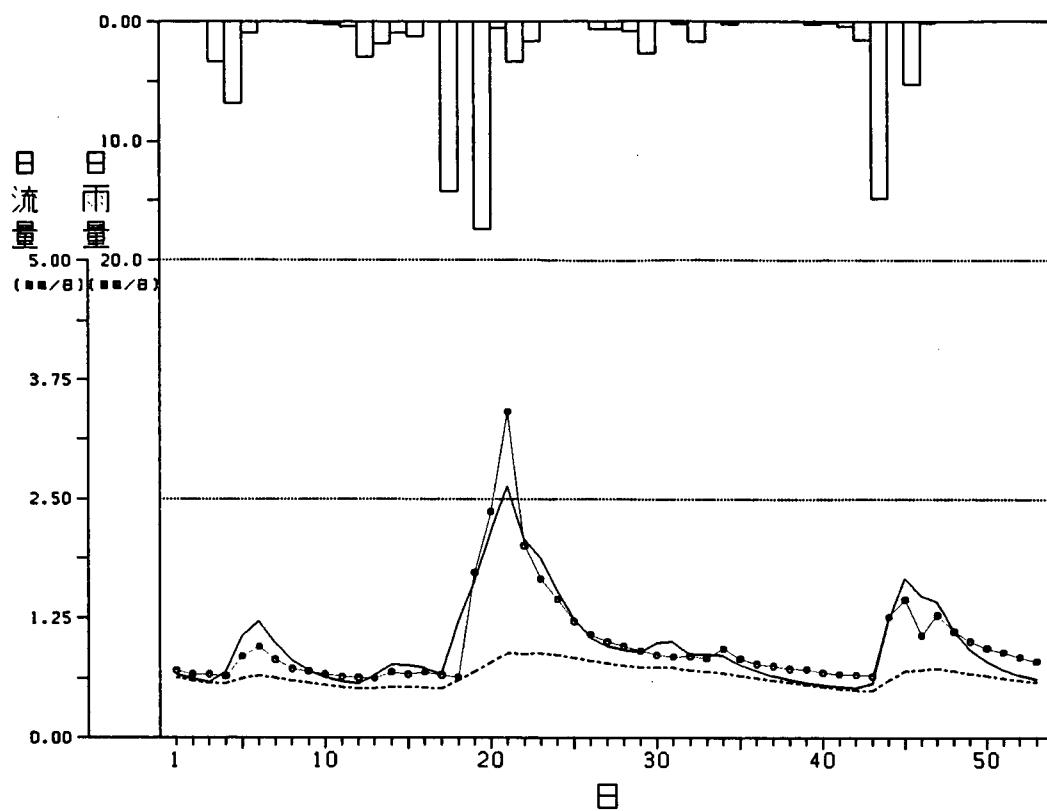


図-2.21(b) モデル同定結果の例〔タンクモデル・ケース7〕

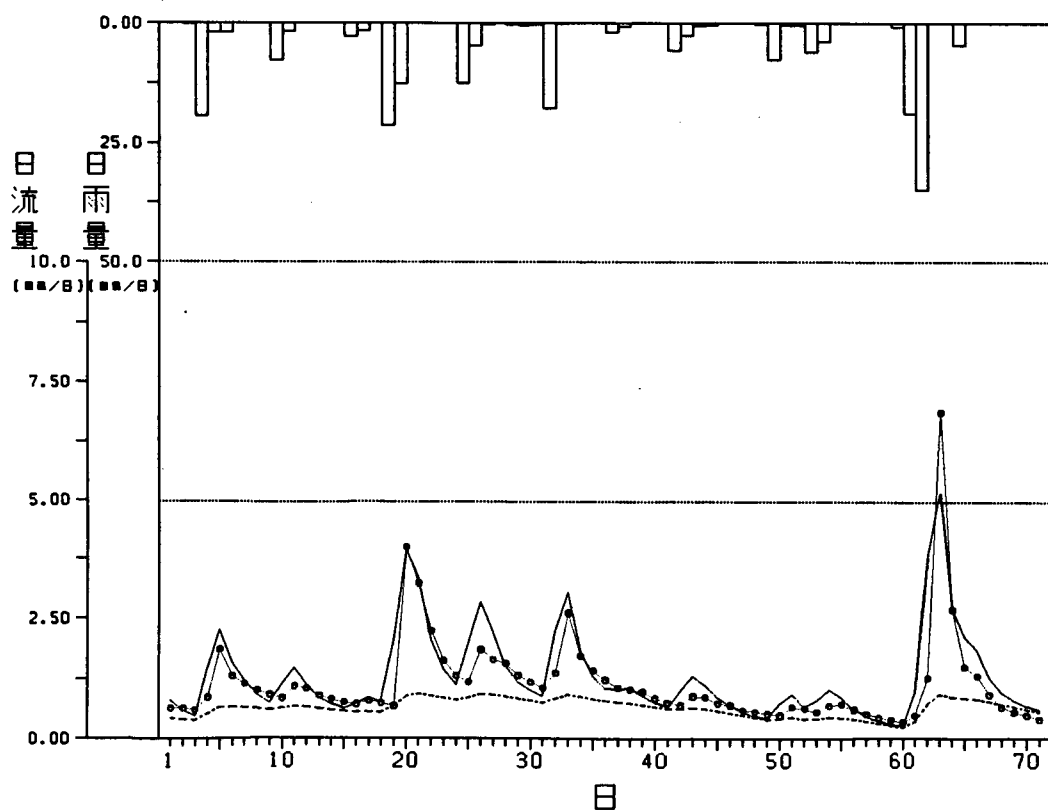


図-2.21(c) モデル同定結果の例〔タンクモデル・ケース8〕

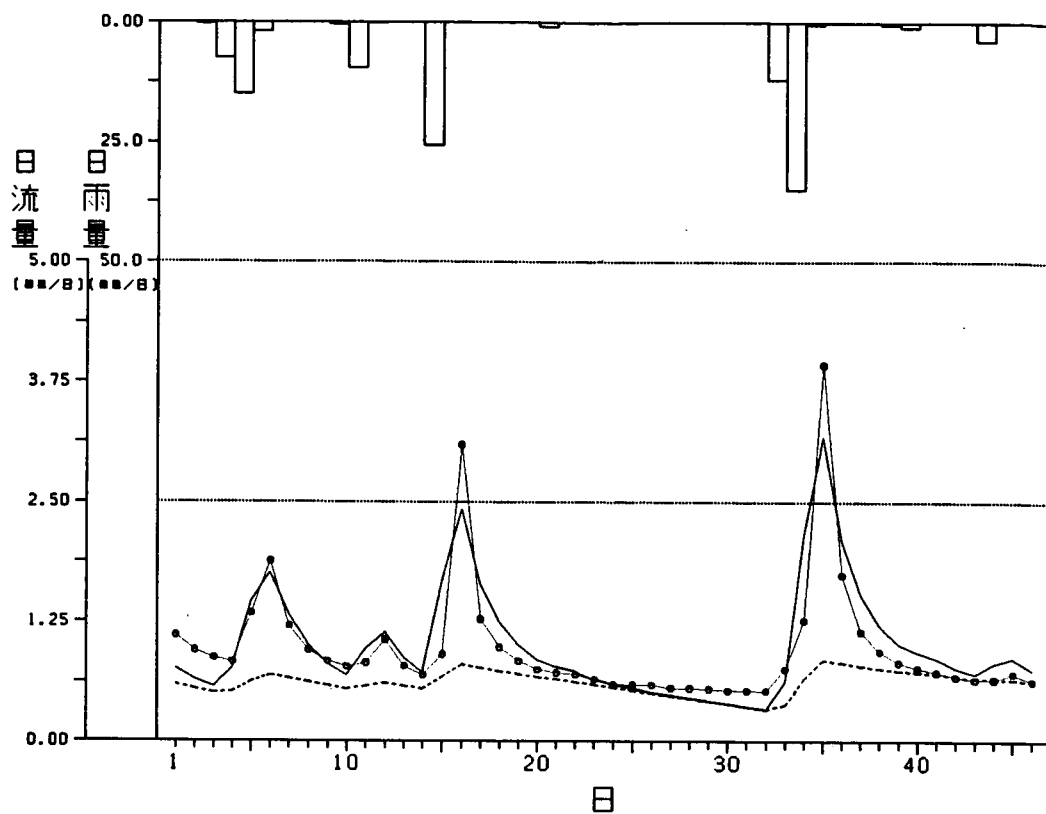


図-2.21(d) モデル同定結果の例〔タンクモデル・ケース10〕

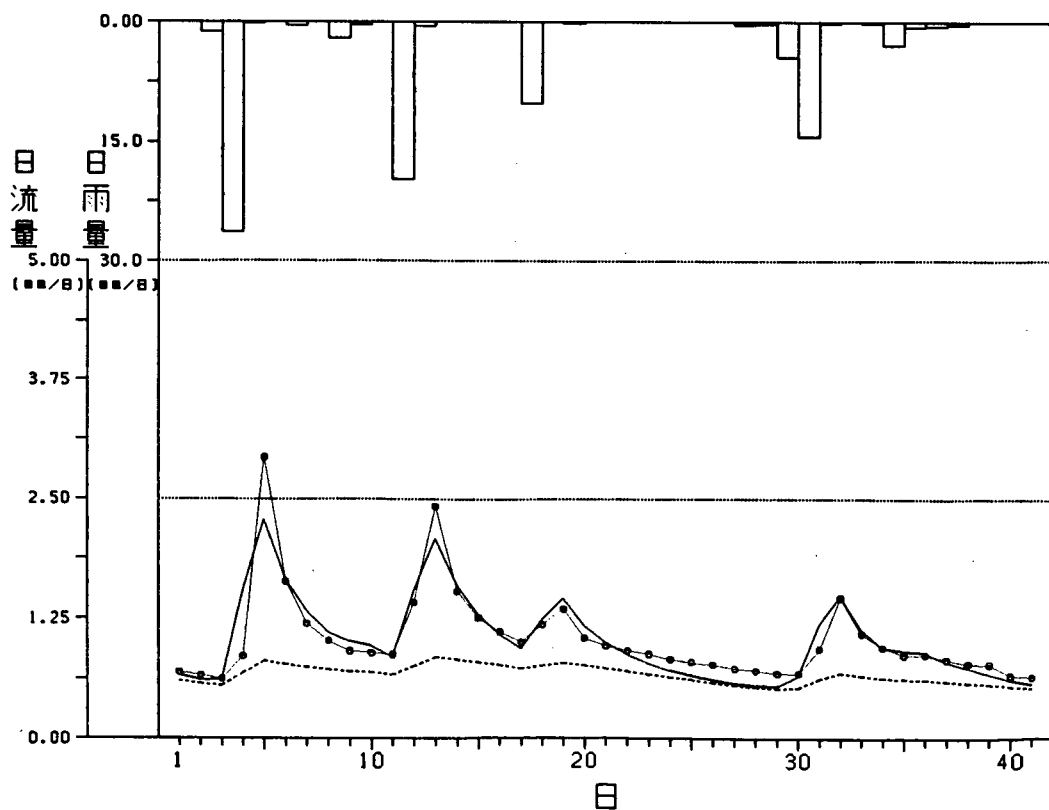


図-2.21(e) モデル同定結果の例〔タンクモデル・ケース11〕

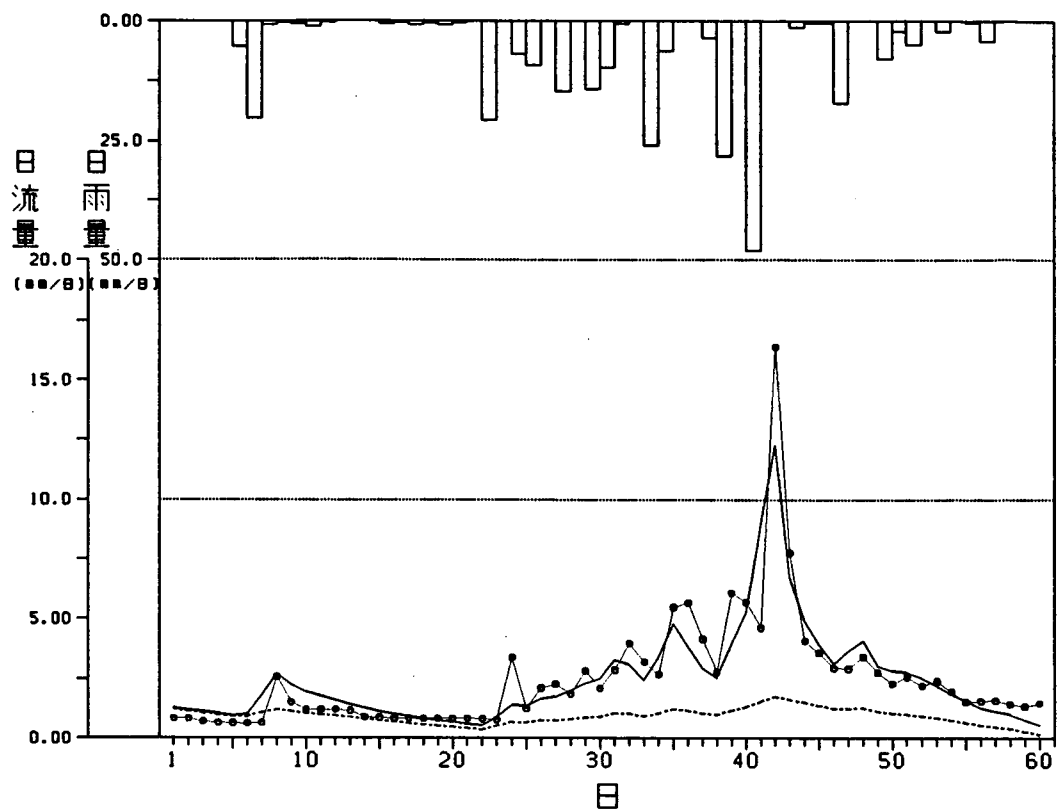


図-2.22(a) モデル同定結果の例〔貯留関数モデル・ケース1〕

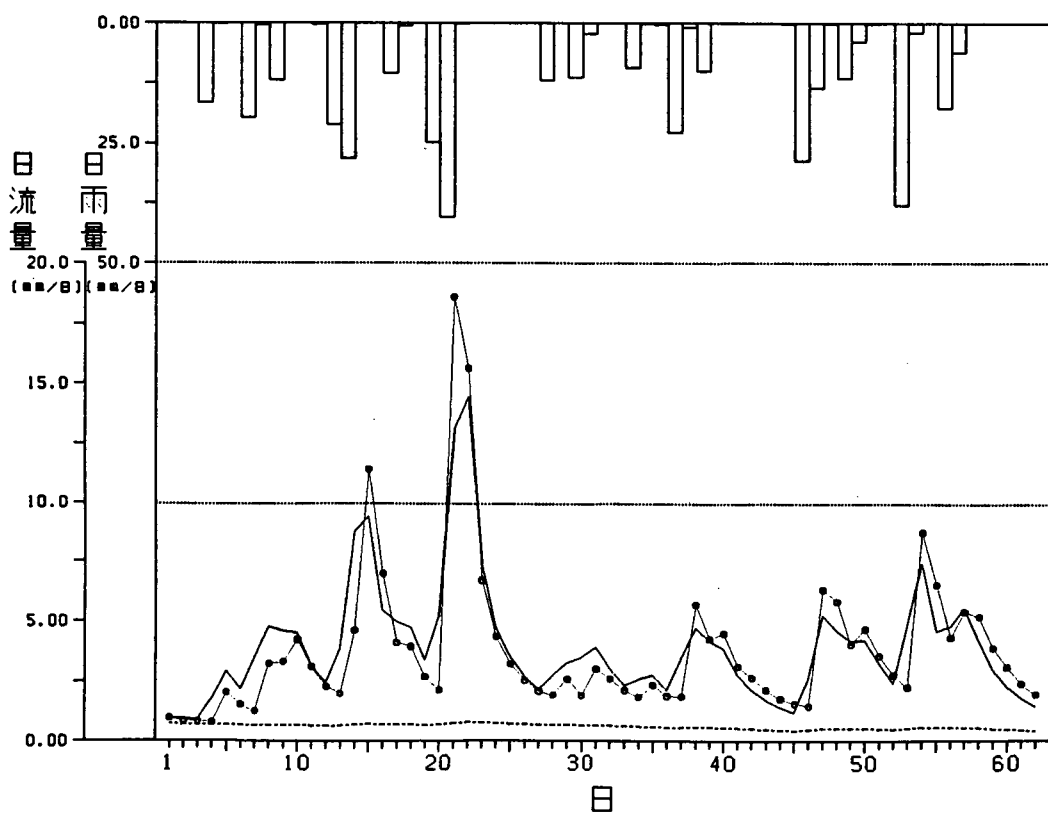


図-2.22(b) モデル同定結果の例〔貯留関数モデル・ケース4〕

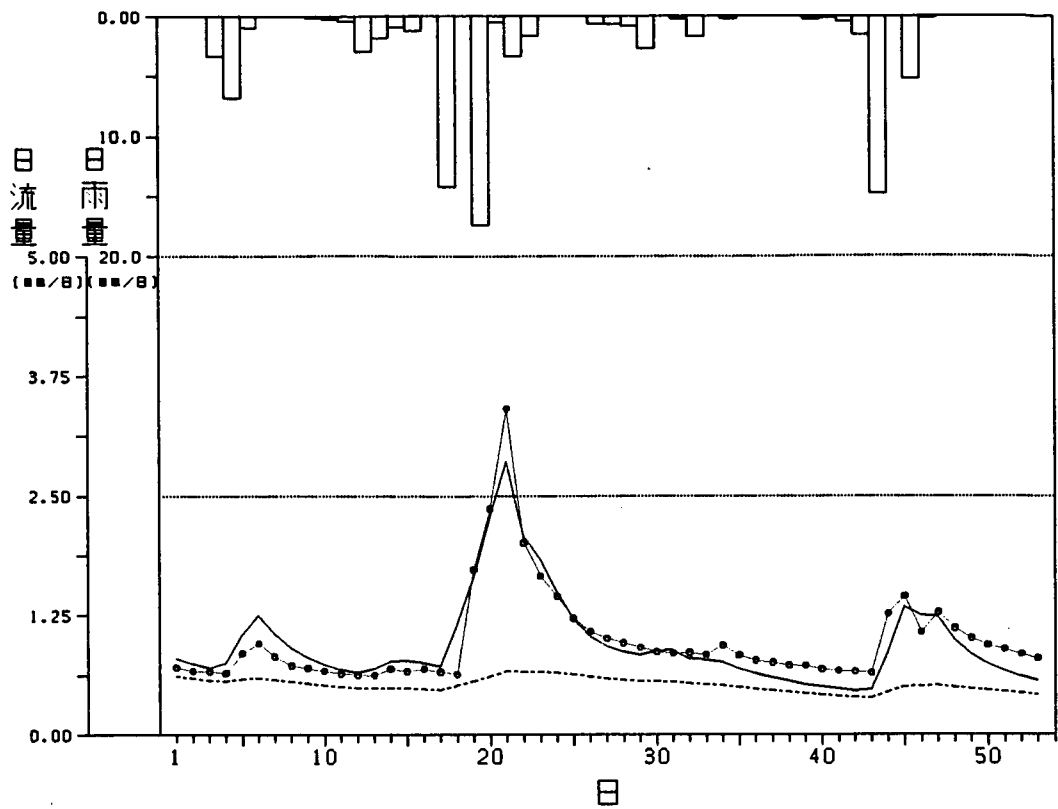


図-2.22(c) モデル同定結果の例〔貯留関数モデル・ケース7〕

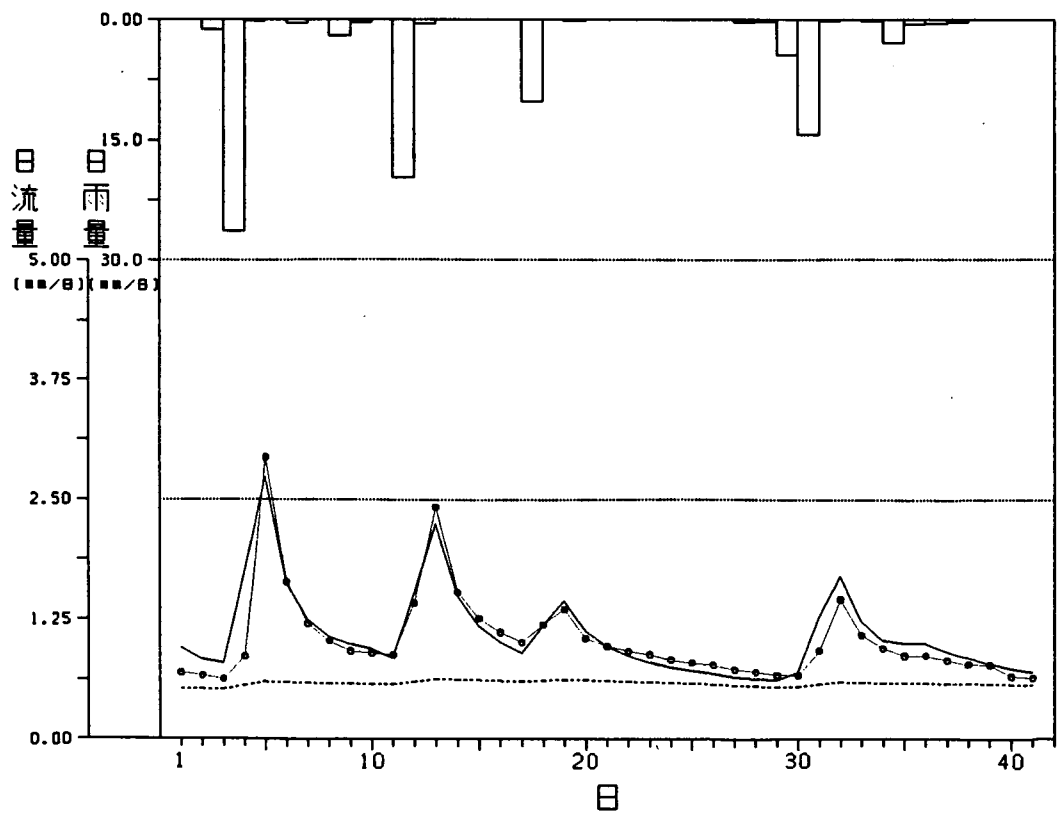


図-2.22(d) モデル同定結果の例〔貯留関数モデル・ケース11〕

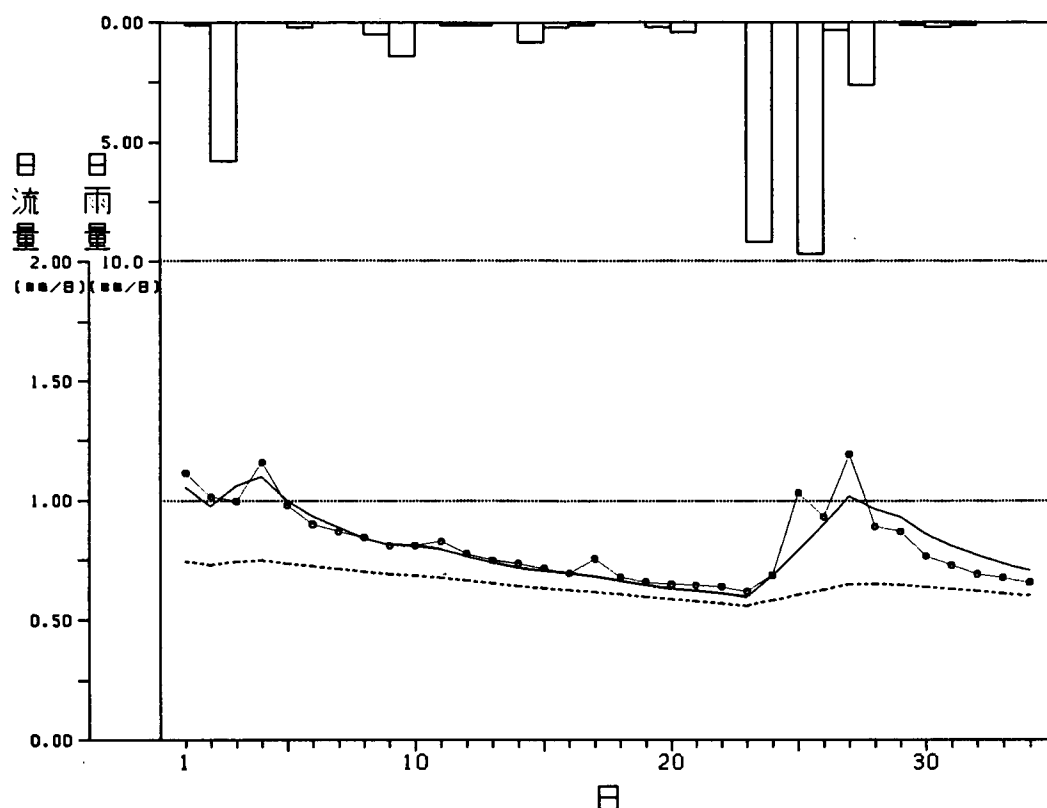


図-2.22(e) モデル同定結果の例〔貯留関数モデル・ケース14〕

表-2.11 水量モデルによる水収支

同定区間	モデル	雨量 (mm)	全流出量 (mm)	地下水流出量 (mm)	損失雨量 (mm)	流出率	地下水流出量 全流出量
52.12.12 ~53.2.2	観測値	84.6	51.9	—	32.7	0.613	—
	タンクモデル	—	51.8	34.4	32.8	0.612	0.664
	貯留関数モデル	—	50.3	27.8	34.3	0.595	0.553
53.11.23 ~54.1.2	観測値	84.5	42.4	—	42.1	0.502	—
	タンクモデル	—	42.1	27.3	42.4	0.498	0.648
	貯留関数モデル	—	44.6	23.9	39.9	0.528	0.536

② 一方、全流出量に占める推定地下水流出量の割合は、タンクモデルよりも貯留関数モデルを援用したモデルの方が若干小さい値となっている。この原因としては、地下水流出の低減係数 ϕ の値がほとんどのケースにおいて貯留関数を援用したモデルの方が小さく求められていることから、モデルそのものの表現能力の違いによるものと考えられる。

③ 次に、モデル同定に当たって適切な初期近似解が設定されなかった場合には、貯留関数モデルを援用したモデルの方に物理性を保たないケースや発散するケースが数多くみられた。ここに、*Newton Raphson* 法により線形近似された(2.41)式において、全流出量 x_1 が地下水流出量 x_2 に等しくなるような低水部で、 $(x_1 - x_2)^{-p}$ の項が非常に不安定となる。このため、 $(x_1 - x_2)^{-p} = 0.0$ としたが、このことによりモデルの表

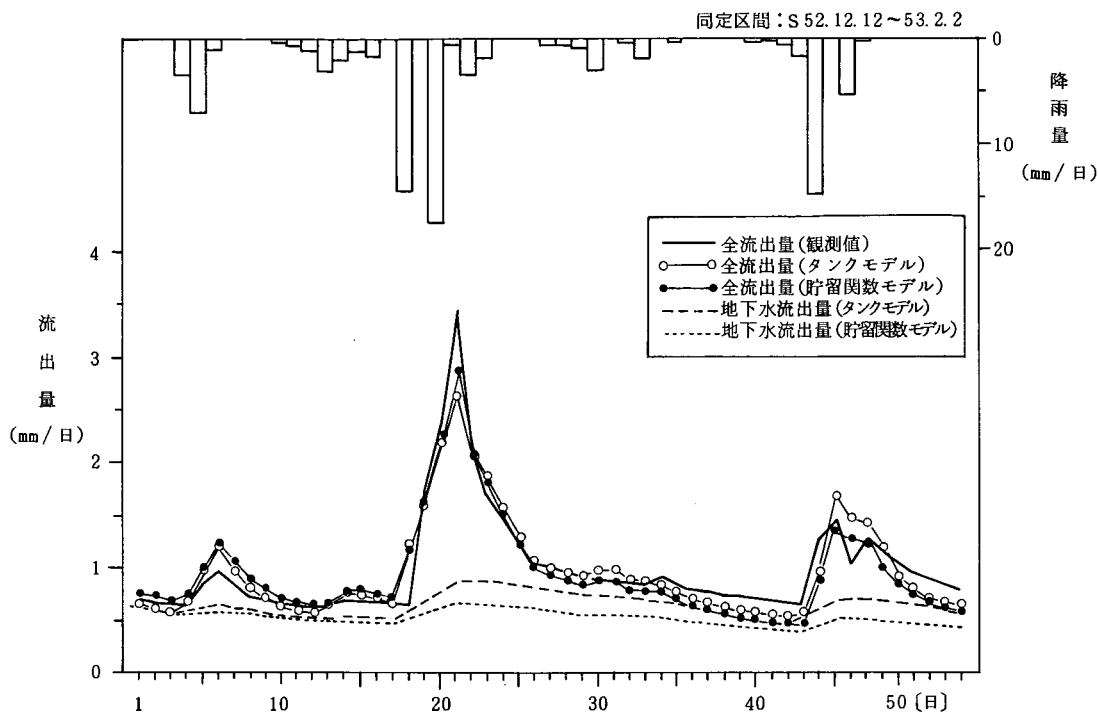


図-2.23 同定ハイドログラフの比較

現能力が矮小化されたことに起因するのではないと思われる。

以上より、流況の再現性において両モデルともほとんど差異は認められなく、良好であるように思われた。しかしながら、準線形化の適用性を考えれば、タンクモデルを援用した水量モデルの方が僅かながら優れているように思われる。

2.4.2 水質モデルの実流域への適用結果

(1) モデル同定結果の分析

水質モデルにおいても、水量モデルの場合と同様な事由により最適な LI を設定し、モデル同定手法を用いて実流域への適用を試みた。同定結果については以下に述べるとおりである。

表-2.12 に水質モデルの同定結果の一覧を示す。同表より、溶解性物質である Cl^- 、 NH_4^+-N は全ケースとも計算繰り返し回数内で収束し最適パラメータ値が求められているのに対して、浮遊性物質である SS 、 COD では未知パラメータの収束値が得られないまま発散するケースも何ケースかみられる。ただし、水質項目にかかわらず収束したケースにおいては、一部のケースを除き同定誤差関数値及び相関係数より極めて高い同定精度を示していることがわかる。未知パラメータの収束過程を図-2.24 に、同定誤差関数値の変化過程を図-2.25 に示す。未知パラメータ値及び誤差関数値は前述の水量モデルの収束（変化）過程と比べて、収束状態に入り解が安定する寸前まで大きく変動していることがわかる。これは水質モデルが水量モデルに比べて未知パラメータの数が6個から3個と少ないため、コンプレックス法によるモデル同定に際して未知パラメータの改善が容易に行われているためではないと思われる。

図-2.26 には各水質のパラメータの分布状況を示す。図-2.26 を全体的にみると、まず流出率を現わずパラメータである K は同定区間によってかなりばらついていることがわかる。これは、水量モデルでのパラ

表-2.12 水質モデル同定結果の一覧

a) SS

ケース	同定区間	季節	区間長(日)	収束回数(回)	最終パラメータ値			同定誤差関数			相関係数
					L(0)	K	d	(1)	(2)	(3)	
1	50/ 3/14~50/ 5/12	春	60	×	—	—	—	—	—	—	—
2	50/ 6/ 9~50/ 8/ 3	夏	56	×	—	—	—	—	—	—	—
3	50/ 9/13~50/11/ 3	秋	52	7	23.134	0.0030	76.80	5.32*10 ⁴	3.602	1.644	0.783
4	52/ 3/10~52/ 5/10	春	62	×	—	—	—	—	—	—	—
5	52/ 6/19~52/ 8/17	夏	60	10	39.941	0.0012	97.06	1.62*10 ⁵	3.792	1.663	0.854
6	52/ 9/20~52/11/10	秋	52	17	8.791	0.0266	31.51	267.31	0.399	0.403	0.948
7	52/12/12~53/ 2/ 2	冬	53	9	6.000	0.0695	21.60	209.25	0.152	0.311	0.734
8	53/ 3/18~53/ 5/27	春	71	19	18.413	0.0313	44.30	1.27*10 ⁴	0.907	0.818	0.949
9	53/ 6/ 6~53/ 7/21	夏	46	×	—	—	—	—	—	—	—
10	53/ 9/25~53/11/ 9	秋	46	7	15.595	0.0596	32.71	100.52	0.721	0.697	0.981
11	53/11/23~54/ 1/ 2	冬	41	19	16.712	0.0452	12.24	75.85	0.403	0.433	0.949
12	54/ 6/18~54/ 8/31	夏	75	×	—	—	—	—	—	—	—
13	54/ 9/10~54/11/26	秋	78	×	—	—	—	—	—	—	—
14	54/11/26~54/12/29	冬	34	17	12.028	0.0039	38.59	3.04	0.022	0.120	0.871

b) Cl⁻

ケース	収束回数(回)	最終パラメータ値			同定誤差関数			相関係数
		L(0)	K	d	(1)	(2)	(3)	
1	6	13.687	0.0039	14.30	18.62	0.014	0.088	0.980
2	13	6.794	0.0101	15.07	445.54	0.185	0.368	0.902
3	6	13.730	0.0087	11.96	36.12	0.018	0.106	0.951
4	14	15.973	0.0169	30.25	30.60	0.017	0.100	0.981
5	9	22.478	0.0175	17.20	50.00	0.038	0.152	0.943
6	11	17.328	0.0440	13.61	16.48	0.028	0.134	0.960
7	14	13.852	0.0527	17.16	1.84	0.005	0.057	0.972
8	14	13.806	0.0483	19.15	7.01	0.027	0.107	0.976
9	6	5.013	0.0132	2.29	2.28*10 ⁴	0.228	0.402	0.832
10	17	24.424	0.0684	21.76	4.86	0.014	0.084	0.977
11	6	15.298	0.0089	20.57	3.37	0.007	0.058	0.951
12	14	5.063	0.0062	13.08	133.60	0.088	0.201	0.976
13	15	27.201	0.0108	14.06	53.36	0.029	0.131	0.984
14	6	24.285	0.1605	16.04	6.24	0.029	0.088	0.731

c) NH₄⁺-N

ケース	収束回数(回)	最終パラメータ値			同定誤差関数			相関係数
		L(0)	K	d	(1)	(2)	(3)	
1	9	0.356	0.0138	0.729	0.191	0.436	0.583	0.884
2	14	0.427	0.0281	0.590	0.512	1.811	0.636	0.925
3	19	0.051	0.0659	0.885	0.110	0.539	0.538	0.906
4	9	0.745	0.0093	0.305	0.602	0.386	0.504	0.930
5	15	0.587	0.0145	0.103	0.048	0.174	0.330	0.948
6	8	0.433	0.0748	0.349	0.053	0.397	0.505	0.903
7	7	0.333	0.2647	0.489	0.014	0.066	0.200	0.675
8	8	0.401	0.1200	0.755	0.110	0.154	0.314	0.918
9	9	0.093	0.0107	0.149	0.818	0.169	0.337	0.908
10	8	0.220	0.1227	0.350	0.016	0.196	0.336	0.863
11	6	0.251	0.4690	0.522	0.017	0.102	0.245	0.690
12	14	0.199	0.0145	0.234	0.161	0.195	0.336	0.983
13	16	0.563	0.0149	0.537	0.211	0.958	0.791	0.967
14	14	0.389	0.7355	0.437	0.006	0.041	0.152	0.171

d) COD

ケース	収束回数(回)	最終パラメータ値			同定誤差関数			相関係数
		L(0)	K	d	(1)	(2)	(3)	
1	10	5.864	0.0020	5.70	501.17	0.474	0.561	0.924
2	10	2.518	0.0010	9.93	3.25*10 ⁴	0.449	0.587	0.838
3	10	5.112	0.0047	13.88	626.92	1.098	0.811	0.840
4	10	14.813	0.0065	9.25	2.16*10 ⁴	0.920	0.800	0.880
5	10	14.877	0.0031	7.90	1.02*10 ⁴	0.836	0.776	0.877
6	7	5.724	0.0278	4.70	8.35	0.093	0.230	0.976
7	10	4.367	0.0614	7.76	3.03	0.033	0.138	0.959
8	13	7.171	0.0619	14.21	31.44	0.178	0.346	0.977
9	×	—	—	—	—	—	—	—
10	7	8.566	0.0192	7.75	6.33	0.267	0.317	0.971
11	9	6.461	0.0451	7.64	8.01	0.115	0.260	0.938
12	13	1.682	0.0089	6.46	354.13	0.242	0.439	0.981
13	×	—	—	—	—	—	—	—
14	5	6.656	0.0073	10.11	0.54	0.024	0.119	0.837

注1) ×印はL I の変更に係わず全て発散したケースである。

注2) 同定誤差関数は、順に累積自乗誤差、重み付き累積自乗誤差、相対誤差の平均値である。

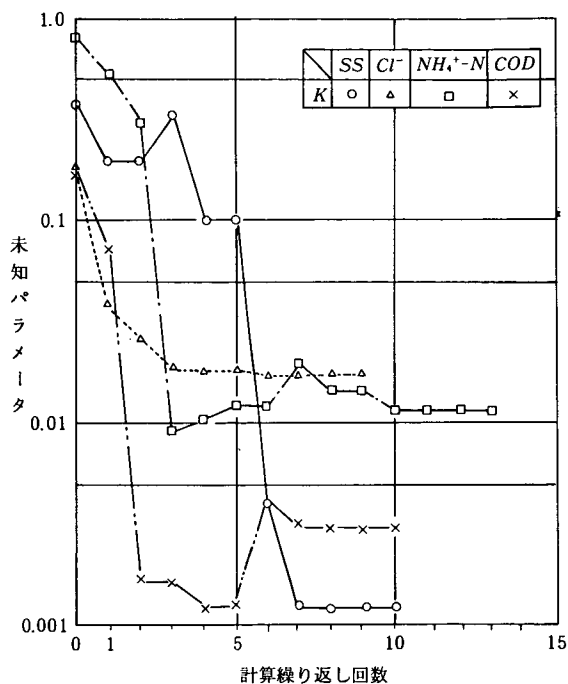


図-2.24(a) 未知パラメータの収束過程 (ケース5)

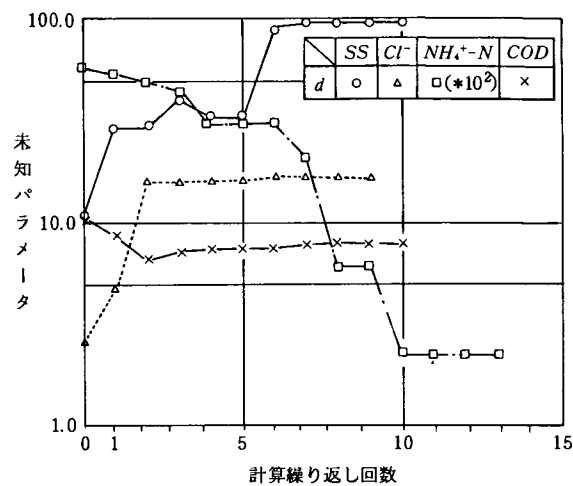


図-2.24(b) 未知パラメータの収束過程 (ケース5)

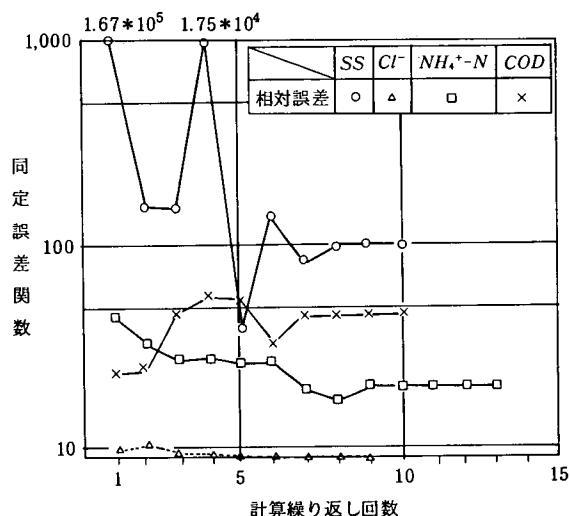


図-2.25 同定誤差関数の変化過程 (ケース5)

メータのばらつきと同様な理由により生起しているものと考えられる。次に発生負荷量を現わすパラメータである d は、特異値と思われる Cl^- のケース9(夏)を除いては、ほぼ安定して定まっているように思われる。一方、季節単位によりパラメータの分布状況をながめてみると、 K は各水質とも夏に小さくなる傾向が窺われ、逆に秋と冬において大きくなっているようにみられる。また、 d は Cl^- 、 NH_4^+-N において夏に小さくなるようにみられるものの、他の季節では一意的なパラメータの分布はみられないように思われる。ここに、夏場において K 値、 d 値とも小さくなることが読み取れたが、これは夏には比較的降雨も少なく気温が高いため土壌が乾燥状態にあるものと考えられ、従って流出率が小さくなり、それに伴い流域の負荷量の発生も

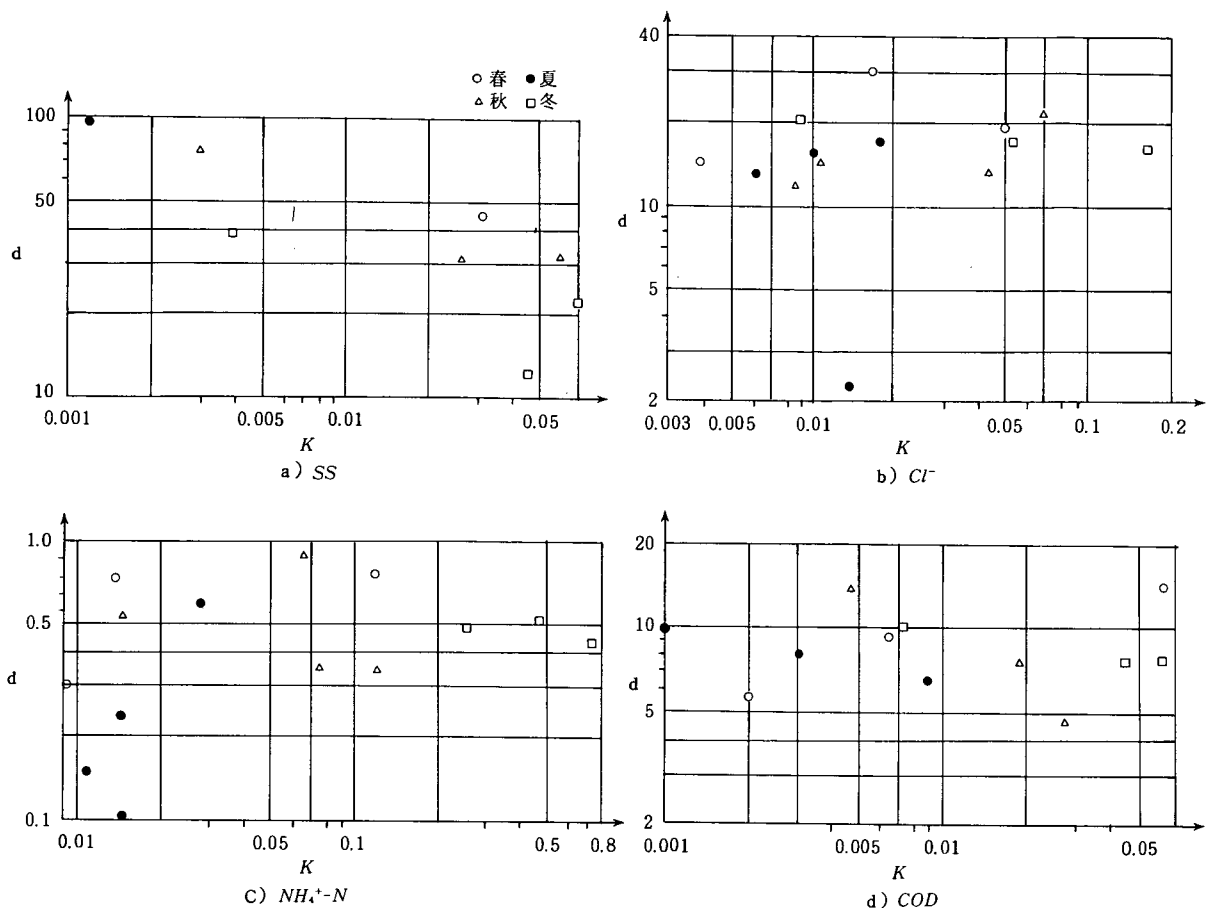


図-2.26 各水質におけるパラメータの分布状況

小さくなったものと理解される。

図-2.27～2.30 には、モデル同定によるポルトグラフの推定結果の一例を示す。同図より、各水質とも負荷量の計算値は実測値を極めて良好に再現しているようにみうけられる。

(2) ま と め

ここで検討した水質モデル及びモデル同定手法の特質と問題点は、下記のように整理されよう。

① まず、表-2.12 及び図-2.25～2.26 より、水量モデルばかりではなく水質モデルに対しても本モデル同定手法の迅速な収束性と、モデル・パラメータの推定精度の高さが立証された。すなわち、わずか 10 回前後の繰り返し計算によりモデル・パラメータの良好な推定値を得ることが可能である。また、その時の $C.P.U$ は 1 ケース当たりたかだか数秒程度ですむことが多い。

② 水量モデルでは、ハイドログラフの低水部に比べて高水部の方の推定精度が若干劣るということがわかったが、水質モデルにおいては図-2.27～2.30 のポルトグラフの再現結果より、各水質とも低水部、高水部に関係なく全体を通して良好な再現性を示すことが証明された。さらに表-2.13 に示す水質モデルによる代表区間の負荷の収支関係からも、負荷流出現象の全体的な予測の良好さが窺え、水質モデルと本モデル同定手法の実用面での有効性の高さを示すものと言えよう。

③ 図-2.31 に示す Cl^- のポルトグラフの推定結果は負荷の貯留効果を考慮したことの妥当性を裏付けるものである。すなわち図-2.31 では、5 日目から 20 日目にかけて流量は逡減していくにもかかわらず、

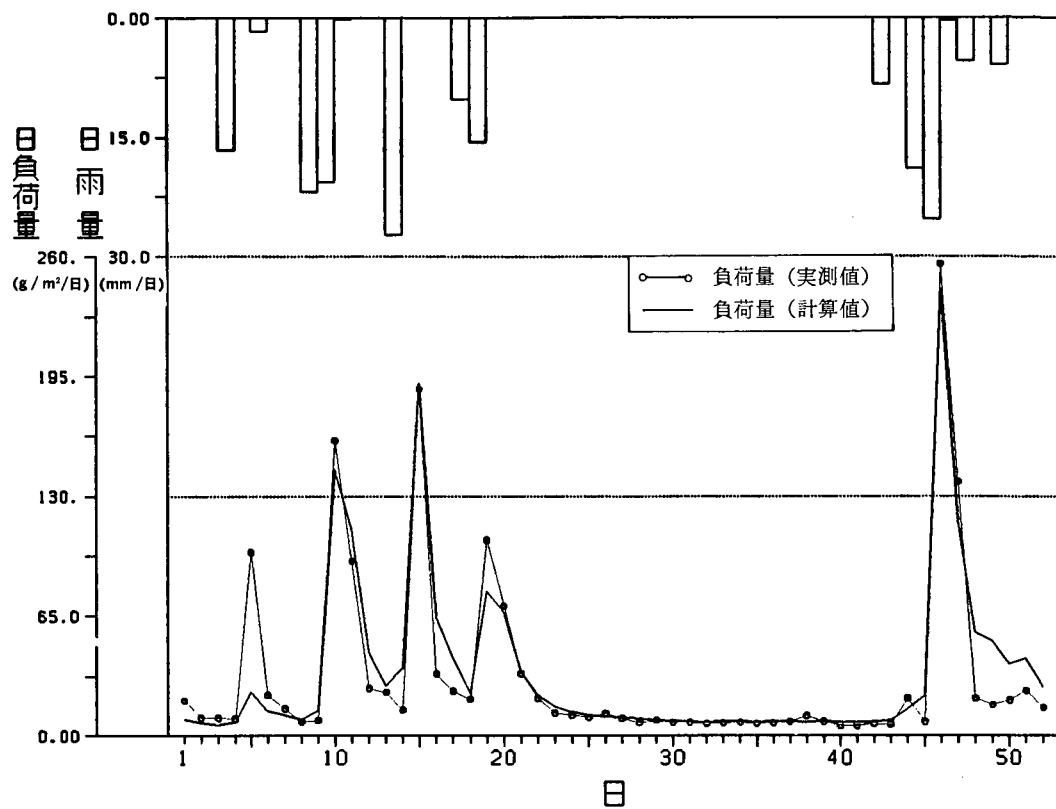


図-2.27(a) モデル同定結果の例〔SS, ケース6〕

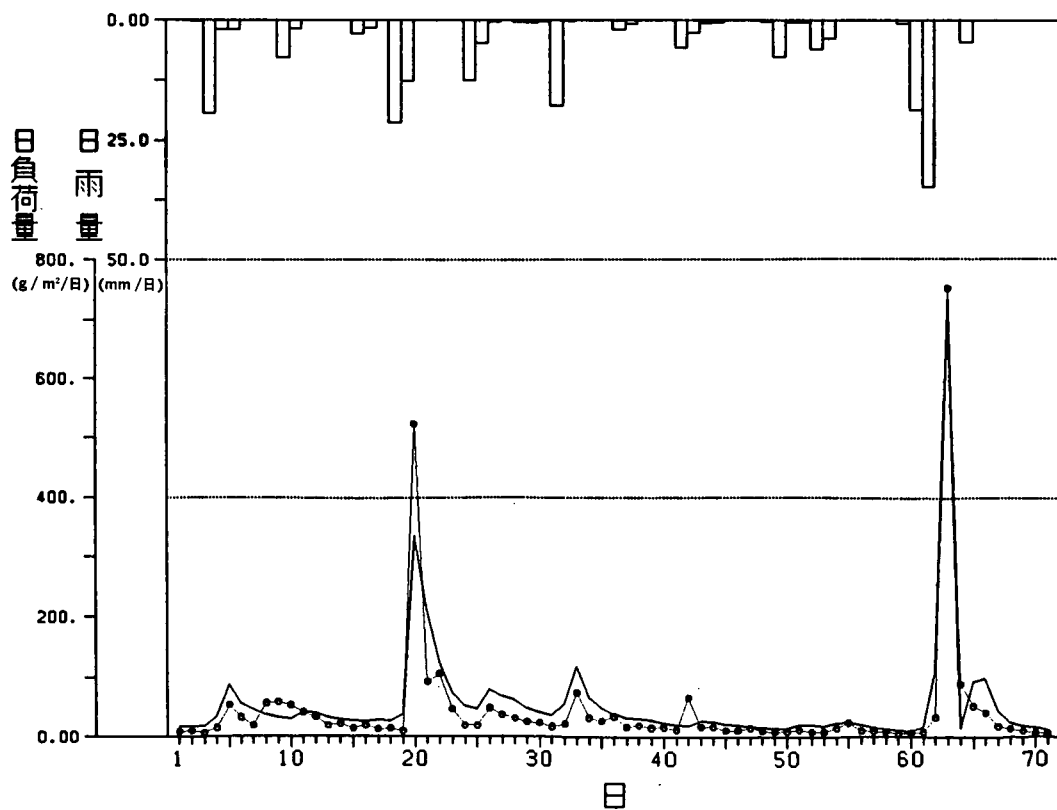


図-2.27(b) モデル同定結果の例〔SS, ケース8〕

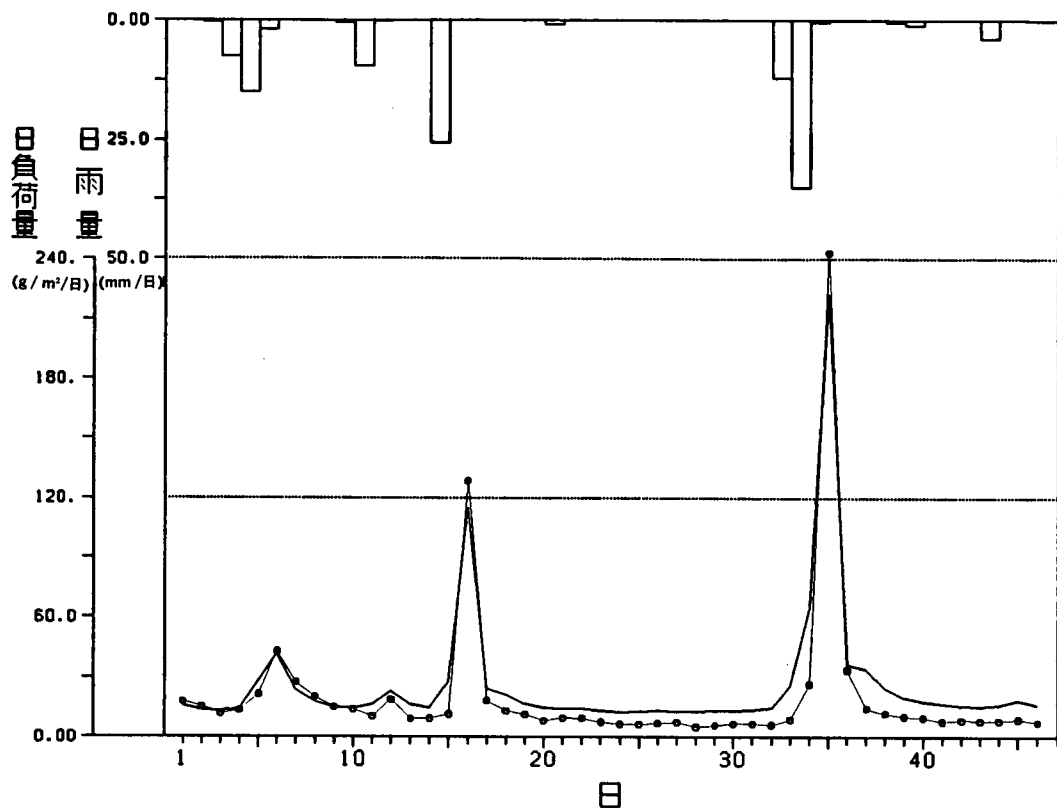


図-2.27(c) モデル同定結果の例〔SS, ケース10〕

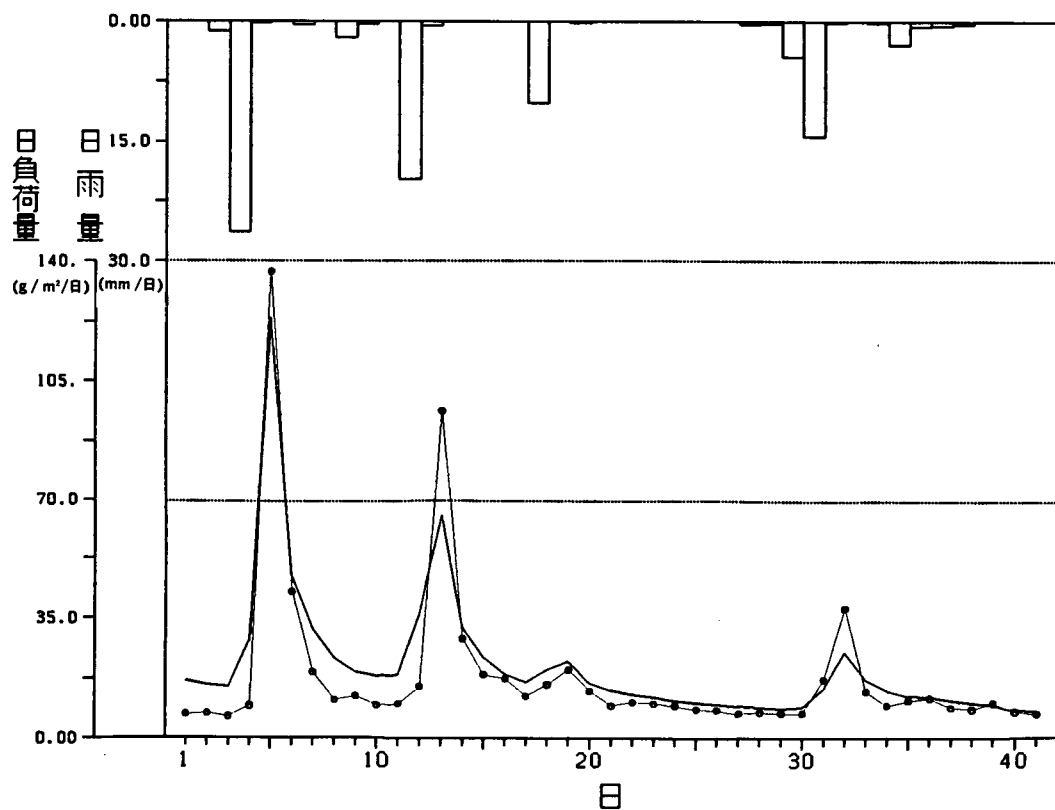


図-2.27(d) モデル同定結果の例〔SS, ケース11〕

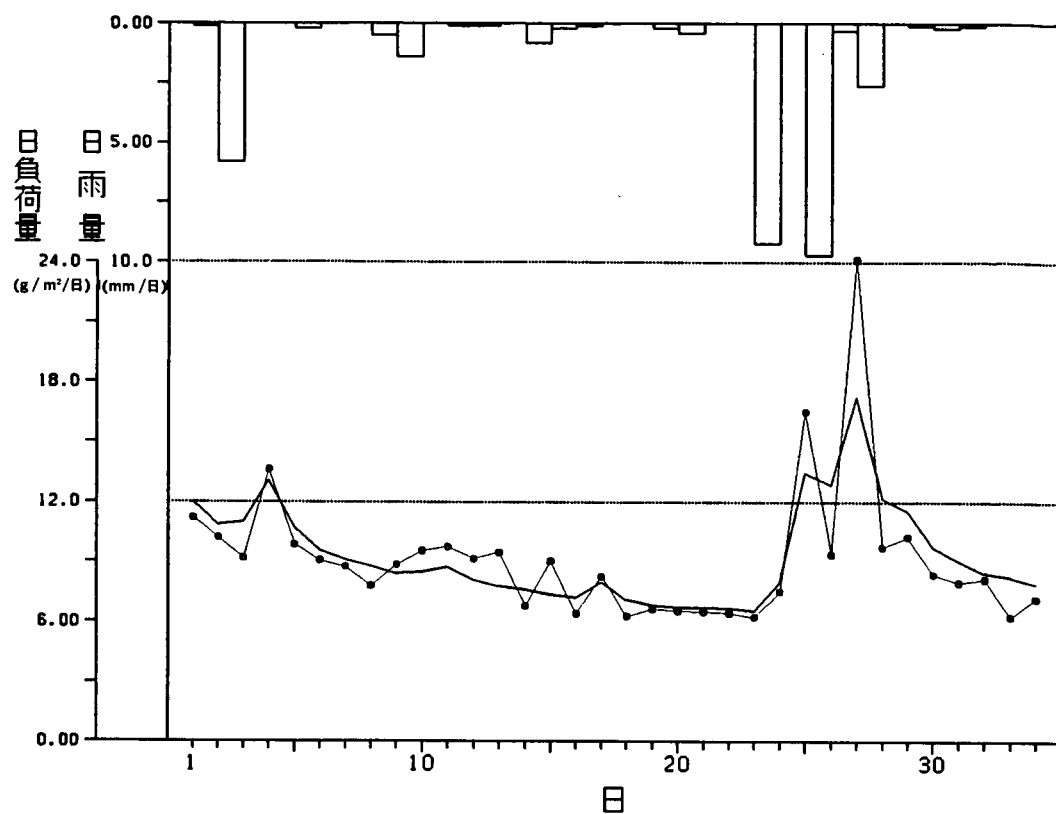


図-2.27(e) モデル同定結果の例〔SS, ケース14〕

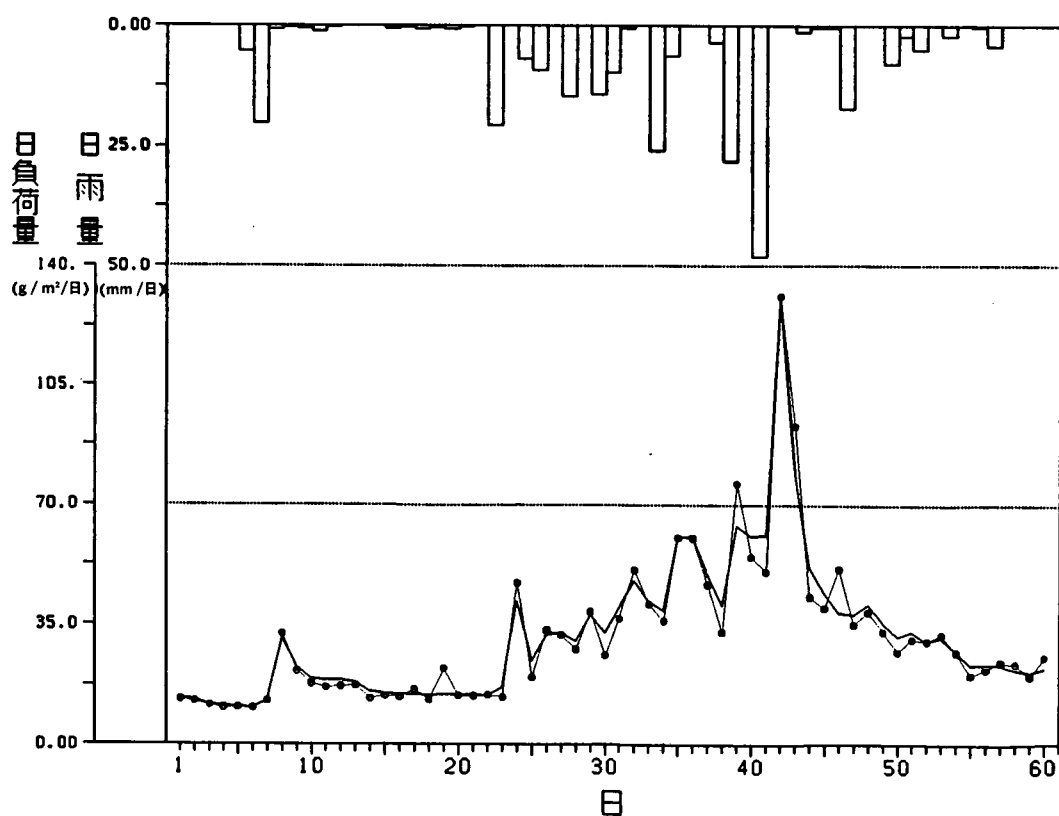


図-2.28(a) モデル同定結果の例〔Cl⁻, ケース1〕

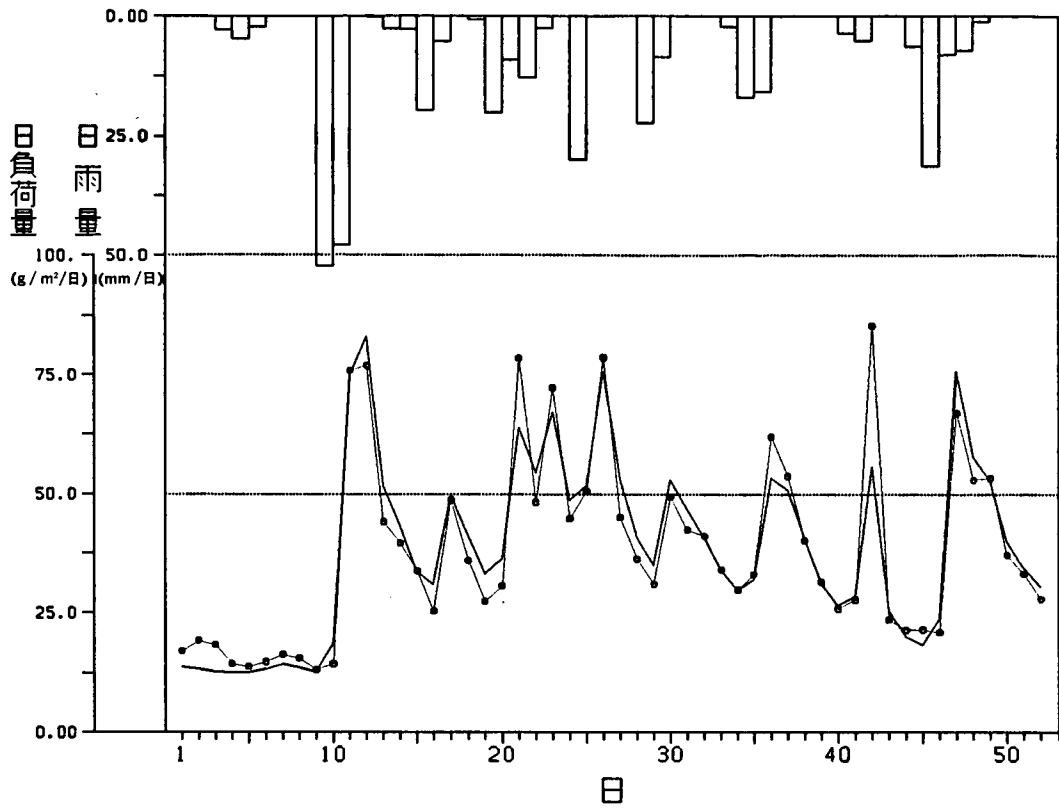


図-2.28(b) モデル同定結果の例〔 Cl^- ，ケース3〕

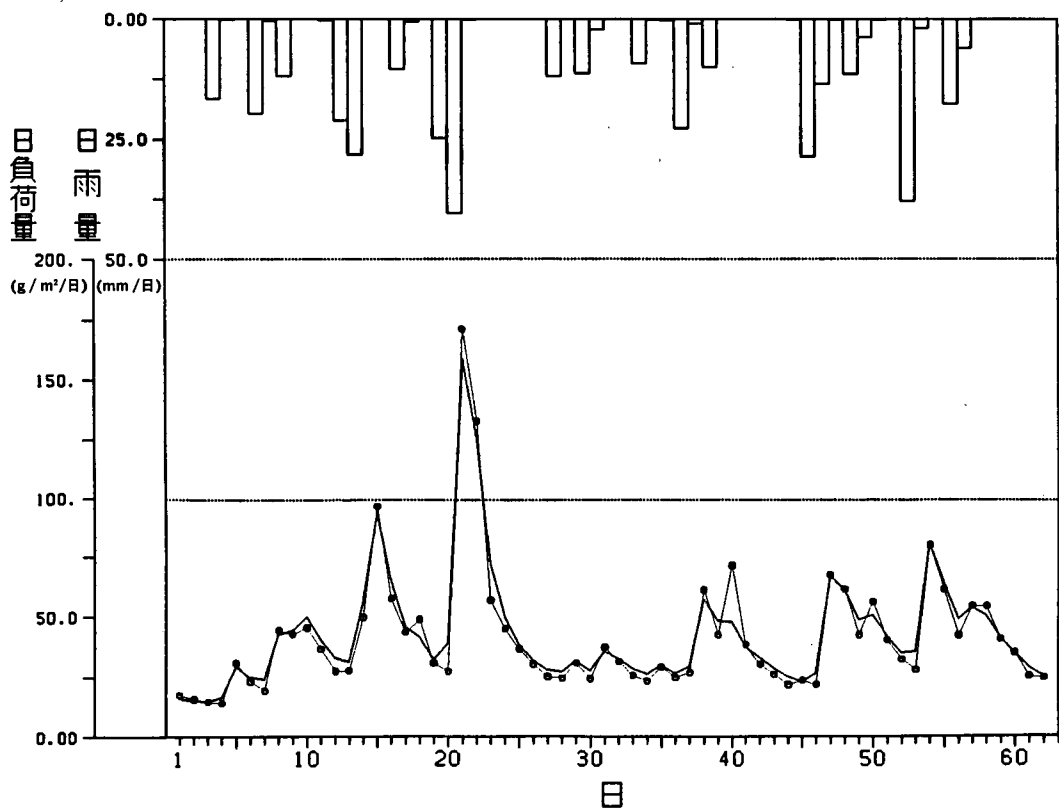
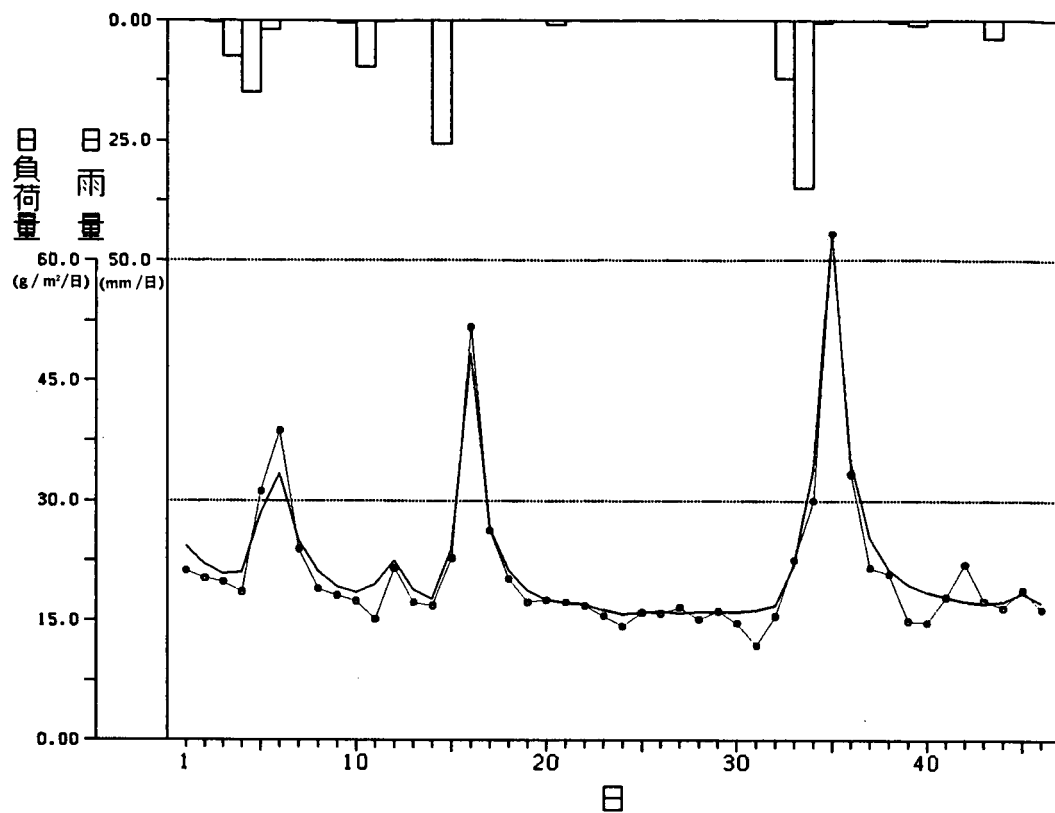
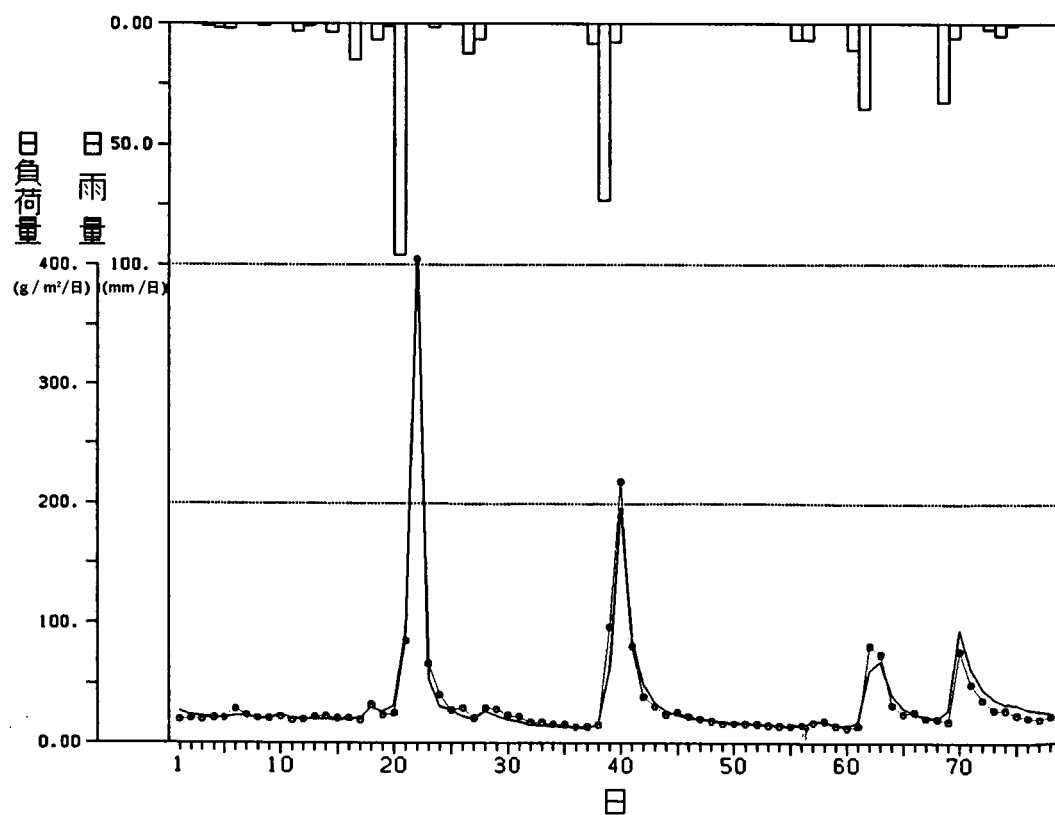


図-2.28(c) モデル同定結果の例〔 Cl^- ，ケース4〕



図－2.28(d) モデル同定結果の例〔 Cl^- ，ケース10〕



図－2.28(e) モデル同定結果の例〔 Cl^- ，ケース13〕

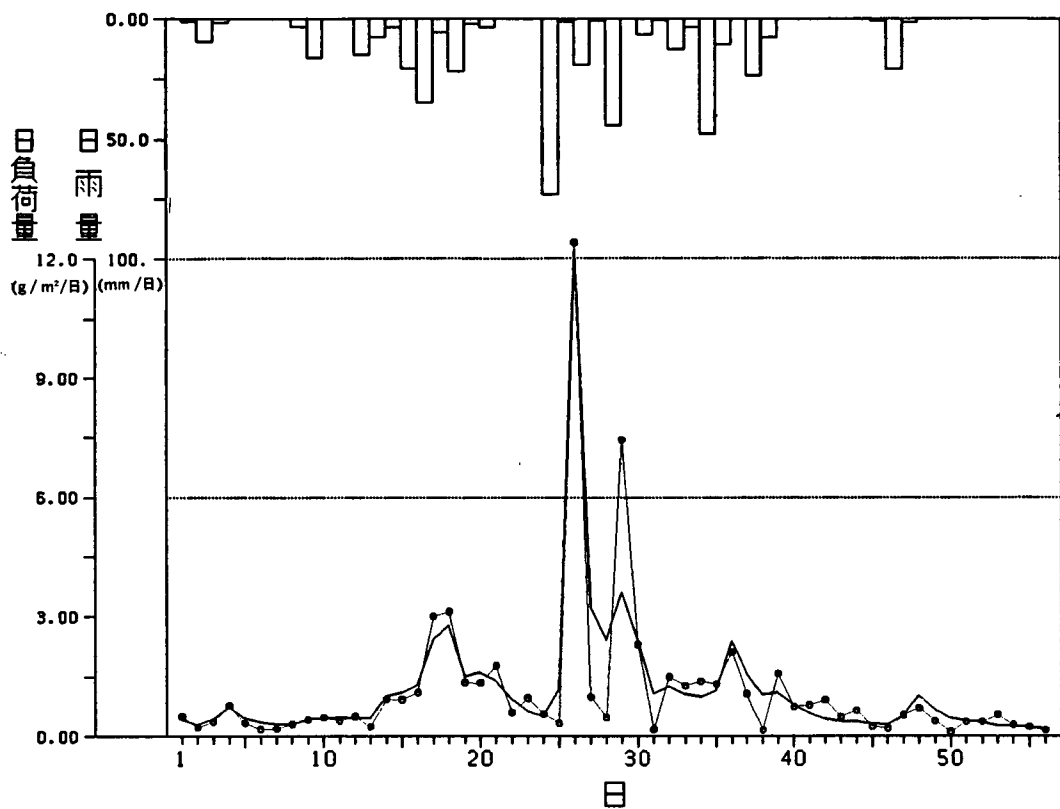


図-2.29(a) モデル同定結果の例〔 NH_4^+-N ，ケース2〕

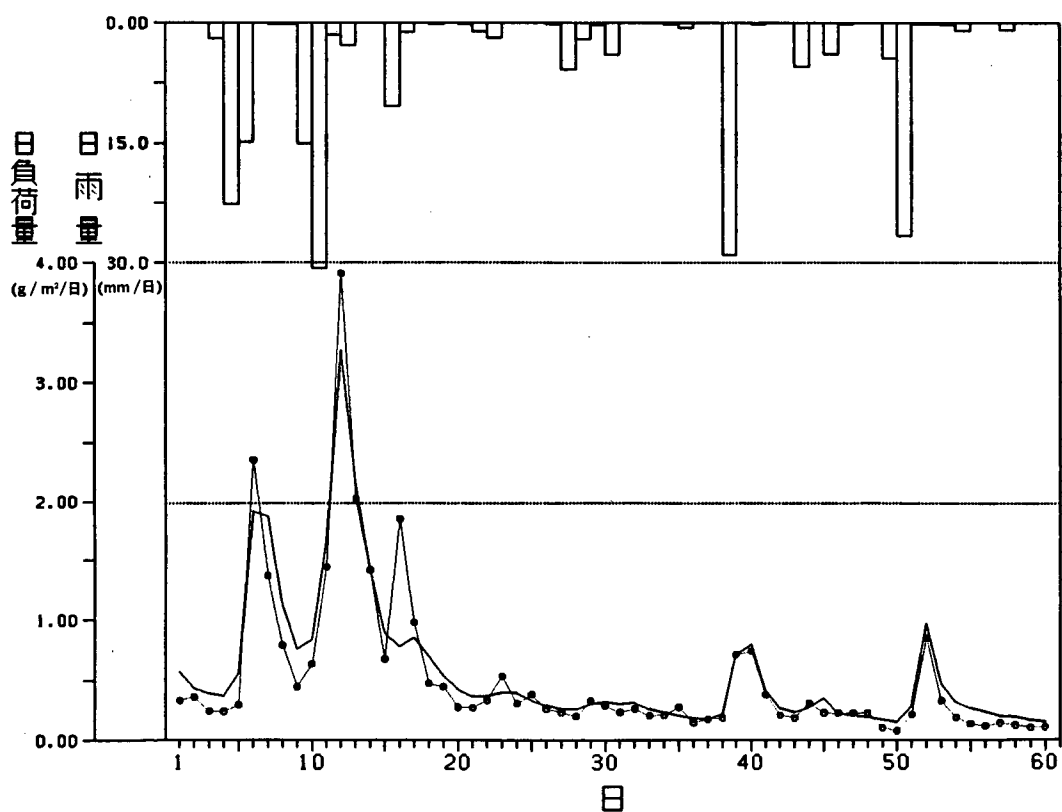


図-2.29(b) モデル同定結果の例〔 NH_4^+-N ，ケース5〕

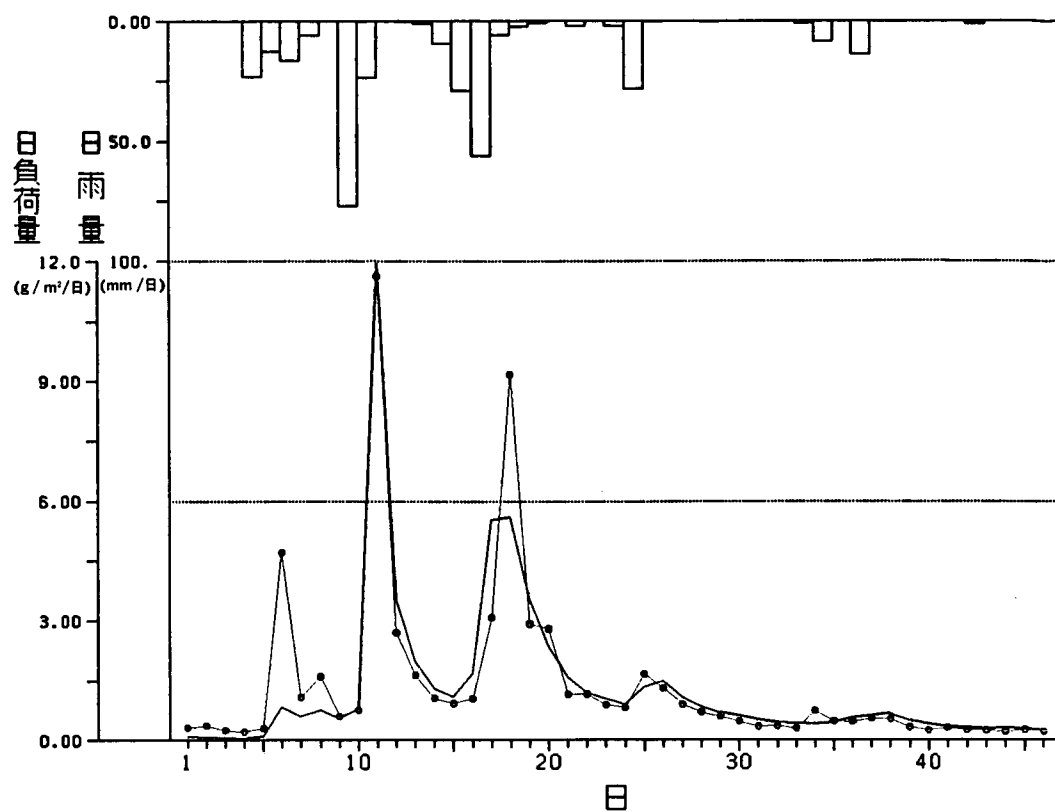


図-2.29(c) モデル同定結果の例〔 NH_4^+-N , ケース9〕

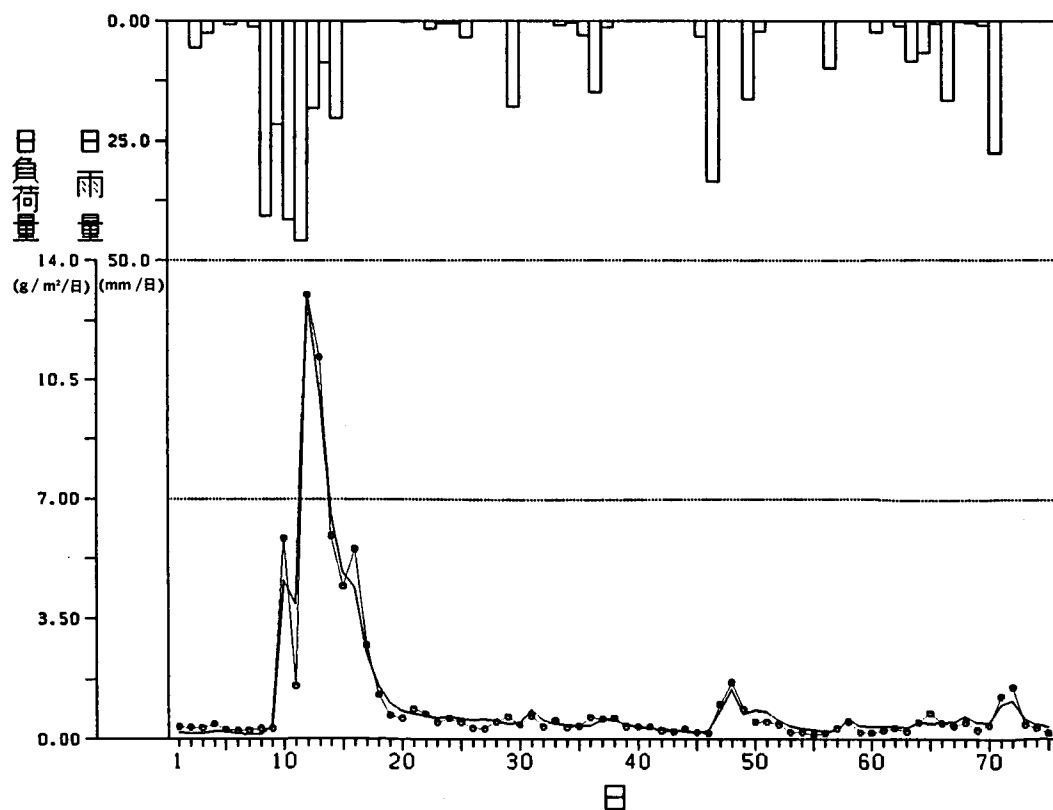


図-2.29(d) モデル同定結果の例〔 NH_4^+-N , ケース12〕

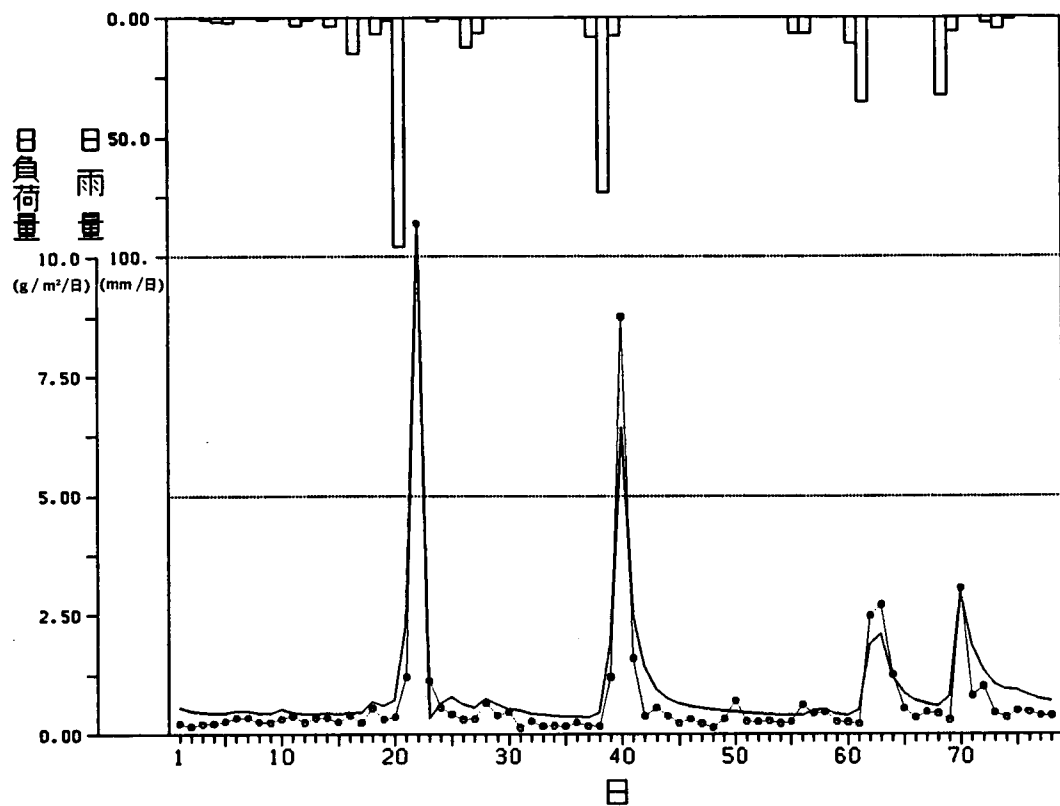


図-2.29(e) モデル同定結果の例〔 NH_4^+-N ，ケース13〕

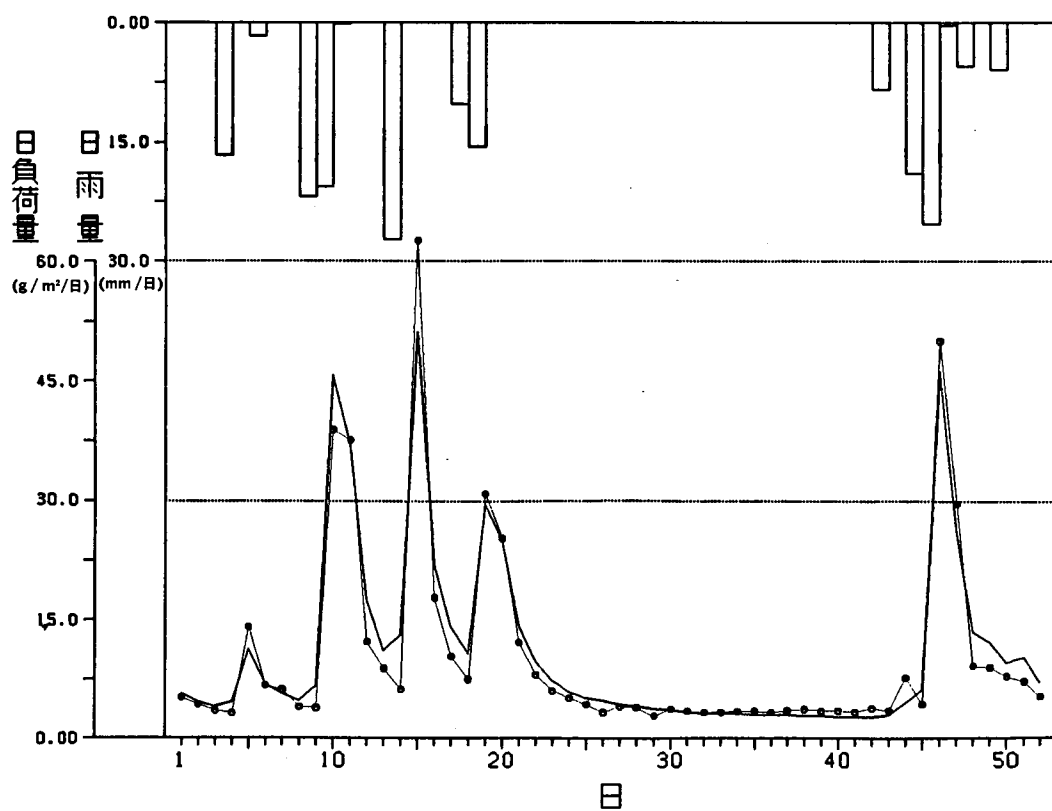


図-2.30(a) モデル同定結果の例〔COD，ケース6〕

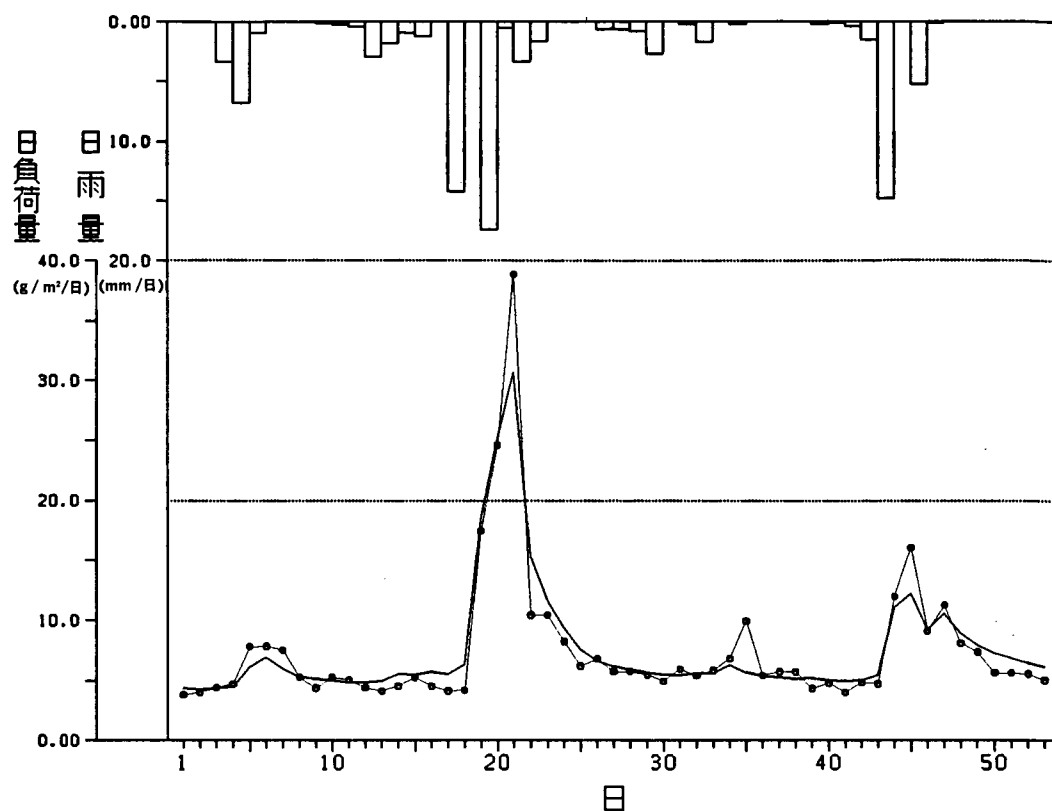


図-2.30(b) モデル同定結果の例〔COD, ケース7〕

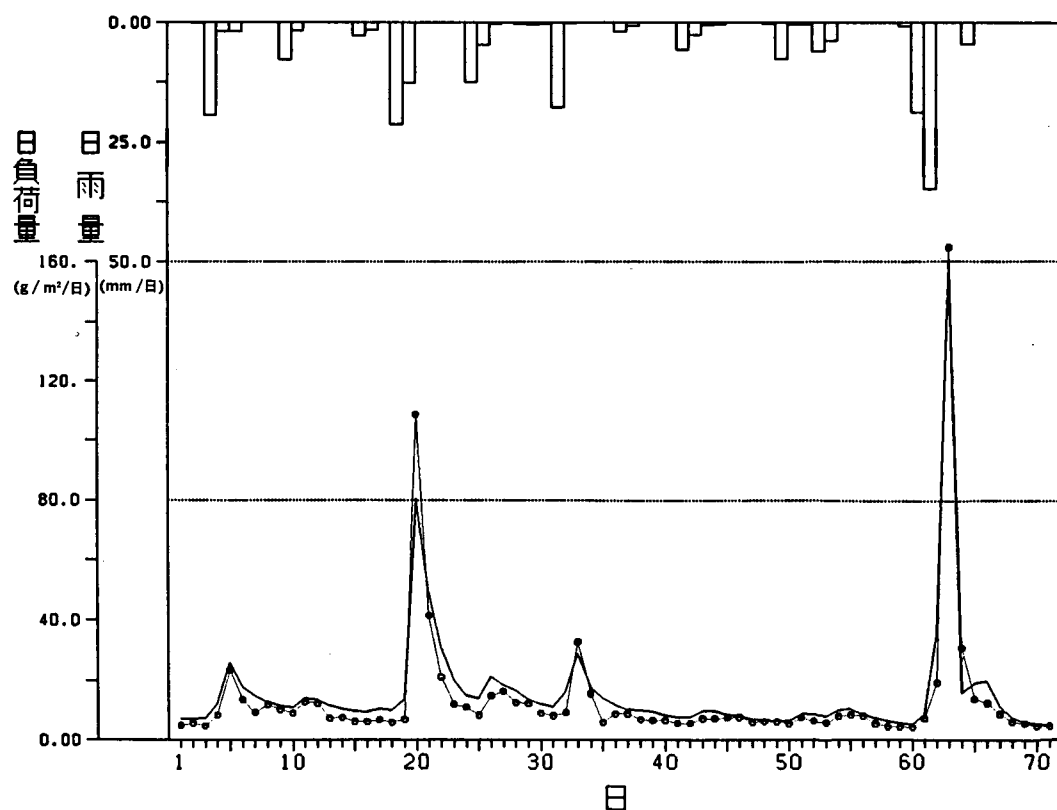


図-2.30(c) モデル同定結果の例〔COD, ケース8〕

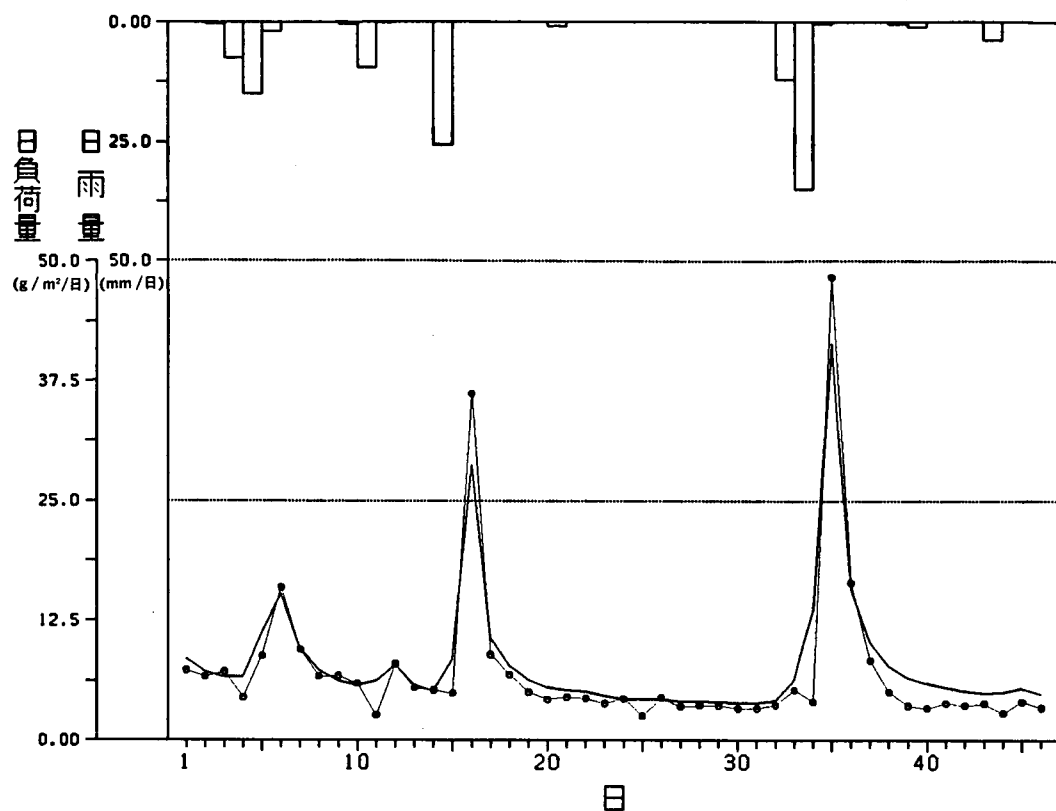


図-2.30(d) モデル同定結果の例〔COD，ケース10〕

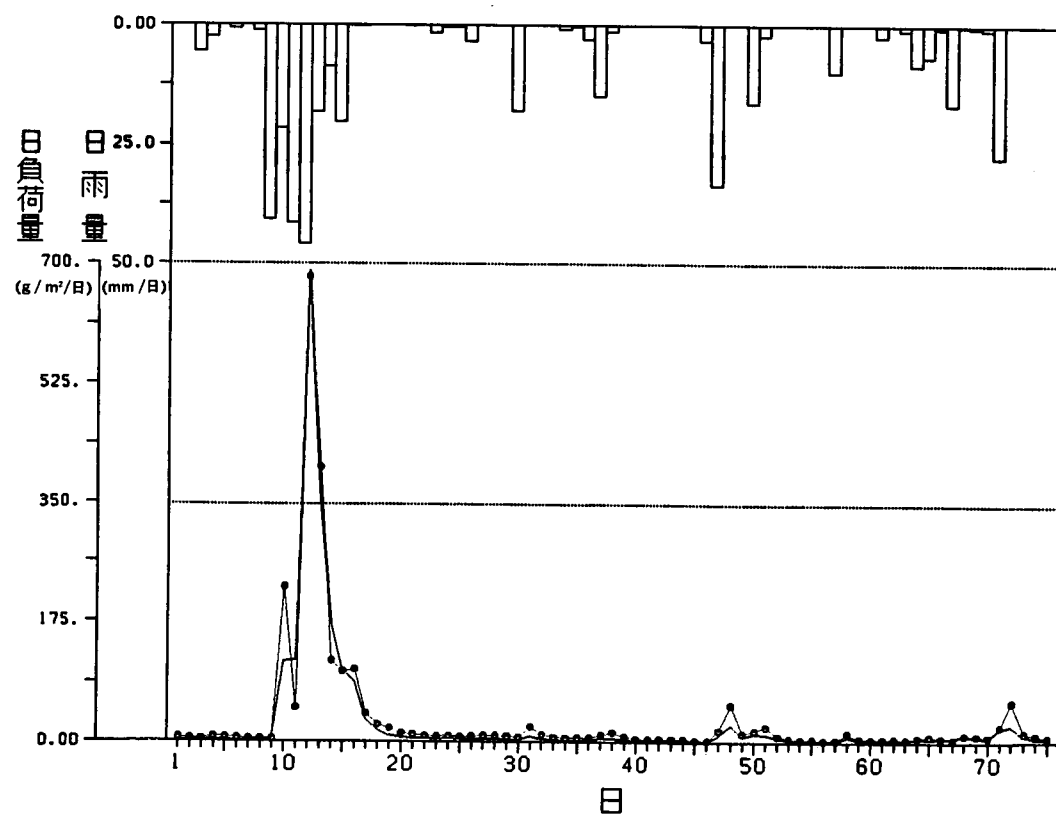
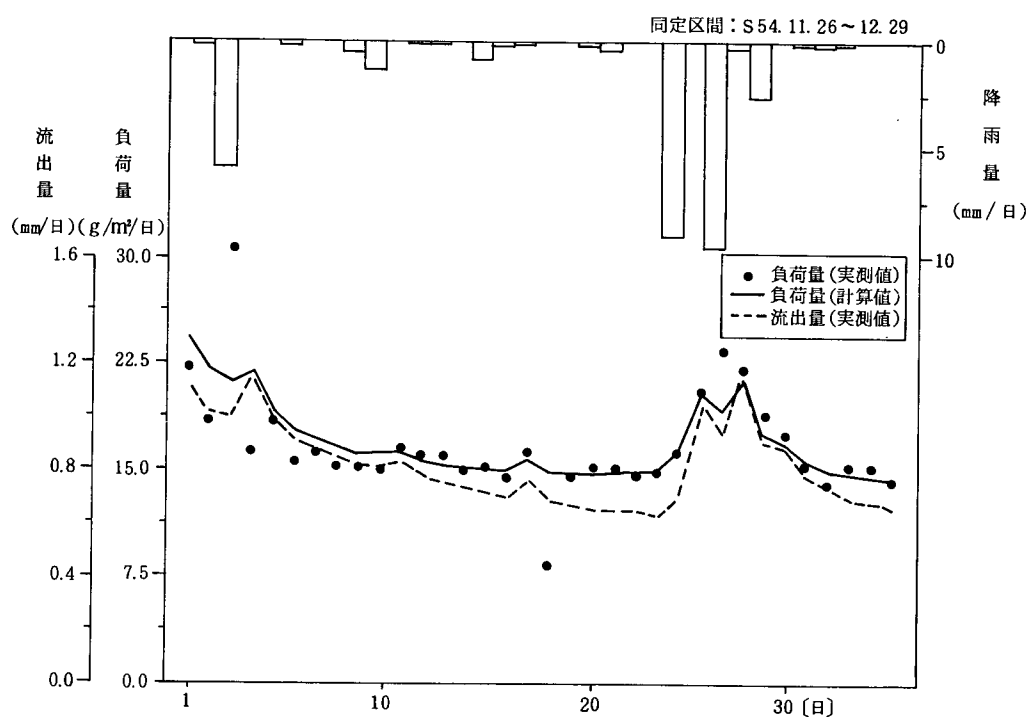


図-2.30(e) モデル同定結果の例〔COD，ケース12〕

表-2.13 水質モデルによる負荷収支

同 定 区 間	水 質 項 目	全 負 荷 量 (kg/m ²)	全負荷量(推定) (kg/m ²)	予 測 誤 差 (kg/m ²)	日平均予測誤差 (kg/m ² /日)
53. 3.18 ~ 5.27	SS	3.07	3.84	0.77	0.011
	Cl ⁻	1.48	1.48	0.00	0.000
	NH ₄ ⁺ -N	4.80×10^{-2}	5.43×10^{-2}	6.3×10^{-3}	8.9×10^{-5}
	COD	0.96	1.11	0.16	0.002
53. 9.25 ~ 11. 9	SS	0.93	1.19	0.26	0.006
	Cl ⁻	0.97	1.01	0.04	8.7×10^{-4}
	NH ₄ ⁺ -N	1.40×10^{-2}	1.47×10^{-2}	7.0×10^{-4}	1.5×10^{-5}
	COD	0.33	0.37	0.04	8.7×10^{-4}

図-2.31 ボルトグラフ推定結果 (Cl⁻)

負荷量はほぼ一定値を保っている。このことは日々の発生負荷量が流出負荷量を上まわり、負荷貯留量が漸増し流量が減っていくにもかかわらず、流出負荷量は一定の状態を維持したものと考えられる。

④ ここに、前述の流量を説明変数とした負荷量の回帰モデルによっても、ある程度の推定精度を持ち得ることは可能であると考えられるが、上記のように無降雨時が継続し流量が徐々に逓減するにもかかわらず、負荷量が一定値を保つような現象は、回帰式では表現することができないことは明白である。一方、水質（堆積負荷評価）モデルではこのような現象をうまく表現でき、しかも現象の合理的解釈を与えることが可能であるという点で優れていると結論できる。

以上までの分析・検討において、簡単な非線形最適化手法であるコンプレックス法と準線形化を組み合わせたモデル同定手法は、本調査で定式化したような数学的構造をもつ河川水量・水質予測モデルの未知パラメータの推定に当たっては、その収束性や同定精度からかなり有効で実用的な方法であることが明示されたものと思われる。

2.5 参考文献

本章で引用した参考文献を以下に示す。

- 1) 日野幹雄・長谷部正彦：流量時系列のみによる流出解析について，土木学会論文報告集，No. 300，pp. 43～56，1980. 8
- 2) 大内忠臣・松下越夫：水循環モデルの実用的作成法（その1）・（その2），土木技術資料，Vol. 23，No. 1，1981，Vol. 24，No. 3，1982
- 3) 土木学会：水理公式集，pp. 145，1985
- 4) 山口高志・吉川勝秀，他：河川の水質・負荷量に関する水文学的研究，土木学会論文報告集，No. 293，1980
- 5) 海老瀬潜一・宗宮功，他：市街地河川流達負荷量変化と河床付着性生物群(1)，(2)，用水と廃水，Vol. 20，No. 12，1978，Vol. 21，No. 12，1979
- 6) 海老瀬潜一・宗宮功，他：市街地河川における降雨流出負荷量の変化特性，水質汚濁研究，Vol. 21，No. 1，1979
- 7) 海老瀬潜一・宗宮功，他：タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析，用水と廃水，Vol. 21，No. 12，1979
- 8) 環境庁国立公害研究所：陸水域の富栄養化に関する総合研究(V)，霞ヶ浦流入河川の流出負荷量変化とその評価，国立公害研究所報告，No. 21，1981
- 9) Gunnerson, C.G.: Streamflow and Quality in the Columbia River Basin, Proc. of A.S.C.E, Vol. 93, No. SA6, pp. 1～16, 1967
- 10) 和田安彦：雨天時負荷流出挙動とそのモデル化，第14回衛生工学研究討論会講演論文集，1978
- 11) 中村栄一：合流式下水道対策の検討（第II報），第16回衛生工学研究討論会講演論文集，pp. 154～159，1978
- 12) 建設省土木研究所水資源開発研究室：準線形化手法を用いた水循環モデルの機械的同定法，土木研究所資料，No. 1911，1983
- 13) 今村瑞穂・大内忠臣：水循環モデルの実用的作成法とその応用，土木研究所報告，No. 163，1984
- 14) Prasad R.: "A Nonlinear Hydrologic System Response Model" J. of Hydraulics Div., Proc. of A.S.C.E, Vol. 93, No. HY4, pp. 201～221, July 1967
- 15) 萩原良己・水田哲夫・高橋邦夫・太田健一：『準線形化と水質システム解析』，NSC研究年報，Vol. 7，No. 1，1979
- 16) 高松武一郎編：『システム工学講座3，プロセスシステム』，日刊工業新聞社，1972
- 17) 清水清孝：『システム最適化理論』，コロナ社，1976

3. 湖沼流域水量・水質循環モデル

3.1 概 要

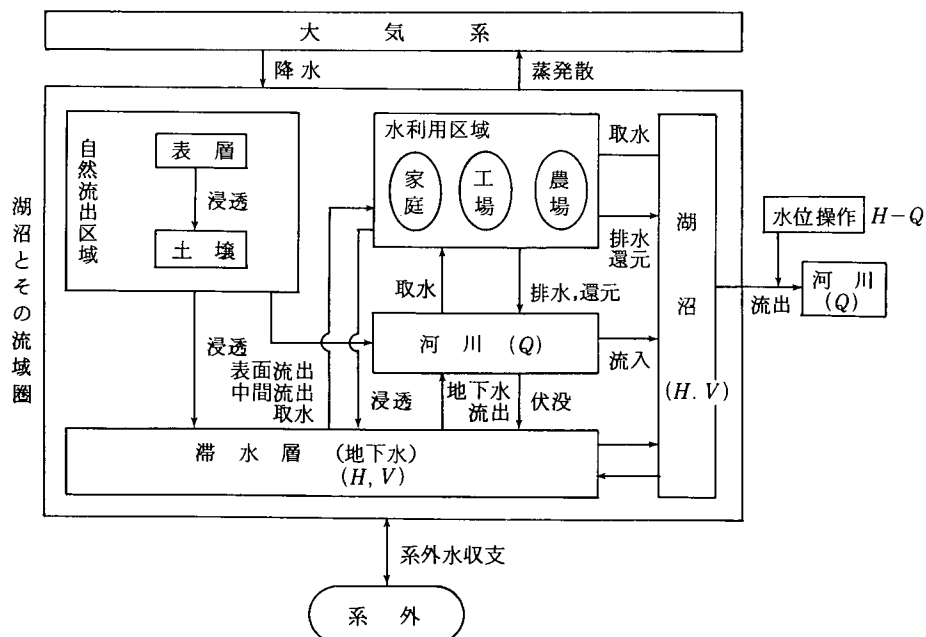
湖沼は、古来より飲料水、農業用水などの安定した供給源として、さらには水産業の場として重要な役割を果たすとともに、流域の文化と産業を育み、人々の憩の場としても広く親しまれてきた。しかしながら近年の著しい産業・経済の発展と流域の開発により、急速に水質が悪化して湖の富栄養化が進み、湖水の着色や水道水の異臭味障害が社会問題化するに及んでいる。そこで、このような問題発生のプロセスと現象のメカニズムの解明、さらに対応策の開発が強く望まれているところであるが、いずれも十分な成果が得られていないのが現状である。

当研究室では、湖沼に流入してくる汚濁負荷を削減することが水質保全対策の基本であり、湖沼も含めた流域における水量・水質の把握とその総合的管理が重要であるという認識のもとに、流域における水循環と負荷循環の追跡モデル（システム）の検討を手がけてきた^{1),2)}。

湖沼流域水量・水質循環モデルは、流域の水利用、土地利用さらには社会経済活動との係わりにおいて、流域内での水循環、負荷循環が表現できる「湖沼と流域を媒介する」モデルである。すなわち、流域から湖沼へ受け渡しする流入量、流入負荷量を流域特性の変化に応じて算出するモデルである。

湖沼流域の水循環は、流域における流出・浸透・流下過程さらには河川水・地下水の水利用の他に、湖沼と流域との間で湖沼からの取水と流域からの排水・還元がある。従って、湖沼及び流域の水循環の大略は図－3.1のように表現できる。

水量・水質循環モデルはこの湖沼流域水循環の概念に基づいて作成した。モデルは水収支モデルと負荷量



図－3.1 湖沼及び流域の水循環の概念

モデルより構成され、負荷量モデルは水収支モデルより与えられる水量より各水質項目の負荷量、さらには水質レベルを求めた。また、対象とする湖沼流域が大きい場合、流域での主要な汚濁源の平面的分布特性をある程度考慮しよう流域と水域を適当なブロックに分割し、ブロック毎に水量・水質の循環を考えることにした。図一3.2 にモデルの基本構造を示すとともに、以下にその概略について述べる。

3.2 水収支モデル

水収支モデルの基本構造は図一3.2(a)に示すとおりであり、①流域の土地利用別水収支・流出モデルと②湖沼水収支モデルをメインモデルとして、それらへの入力条件を基礎データから加工するサブモデルにより構成されている。

(1) 流域水収支・流出メインモデル

流域の水収支・流出モデルはタンクモデル^{3),4)}を基礎とし、流域の土地利用を考慮しようタンク配列とした。タンクの構成は分割された対象流域の地形、流出機構を考慮して設定するものとするが、モデル定数同定の簡略化のため流域の土地利用、地下水流出機構が考慮される簡素なモデルとしている。すなわち、図一3.3に示すように分割された個々の対象流域ごとに表層流出・地下浸透を表現する第1段タンクとして、土地利用状況から山地タンク、水田タンク、市街地その他のタンクが設定される。さらに、中間流出、基底流出を表現する第2、第3段のタンクとして浅層地下タンク、深層地下タンクが設定され合計3段のタンク構成となる。また、取排水等を的確に表現するために河道にもタンクを設定した。これらのモデル構成は、もちろん流域の特性に応じてその構成を変化させることも可能である。各タンクの水収支式は以下のとおりである(図一3.4 参照)。

$$Q_0 = \left(\sum_{i=1}^4 q_i \right) \cdot A / 86.4 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

$$q_i = a_i \cdot (H_0 - h_i) \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

$$\frac{dH_0}{dt} = q_{in} - \left(\sum_{i=1}^4 q_i \right) \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

ここに、 Q_0 ；タンクからの流出量(m^3/s)、 q_i ；各タンク流出孔からの流出高($\text{mm}/\text{日}$)
 q_{in} ；タンクへの流入高($\text{mm}/\text{日}$)、 H_0 ；タンク水位(mm)、 h_i ；流出孔の高さ(mm)
 A ；タンク面積(km^2)、 a_i ；流出孔の係数
86.4；日流出高から流出流量(毎秒)への変換係数

である。

(2) 流出水収支・流出サブモデル

流域水収支・流出サブモデルは、観測所降水量及び蒸発量、土地利用別面積、社会経済活動の基本フレーム、取水量、各種のモデル定数・補助データさらに水量、水位の初期条件等を入力して、対象流域の降水量、蒸発量、排水量、取水量をメインモデルへの入力条件として出力するものである。これには、流域の日降水量算定モデル、日蒸発量算定モデル、水利用用途別排水量算定モデル、取水量・還元量算定モデルがある。

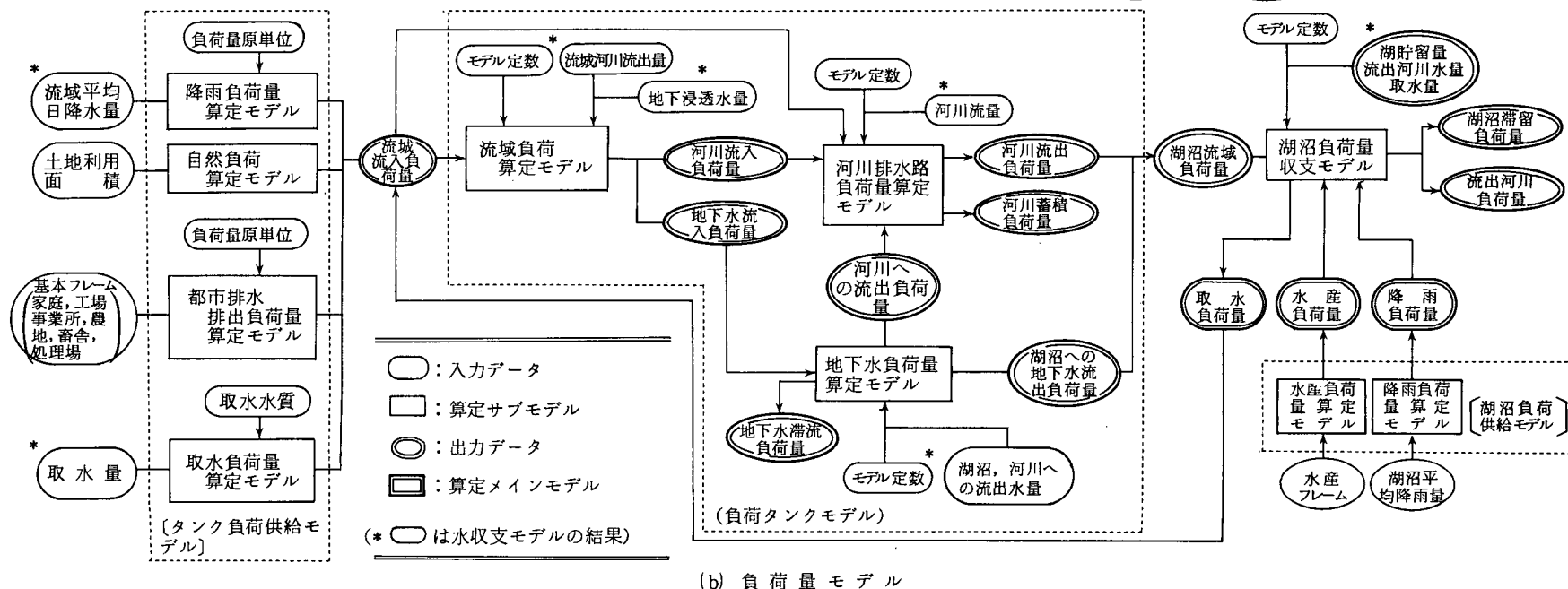
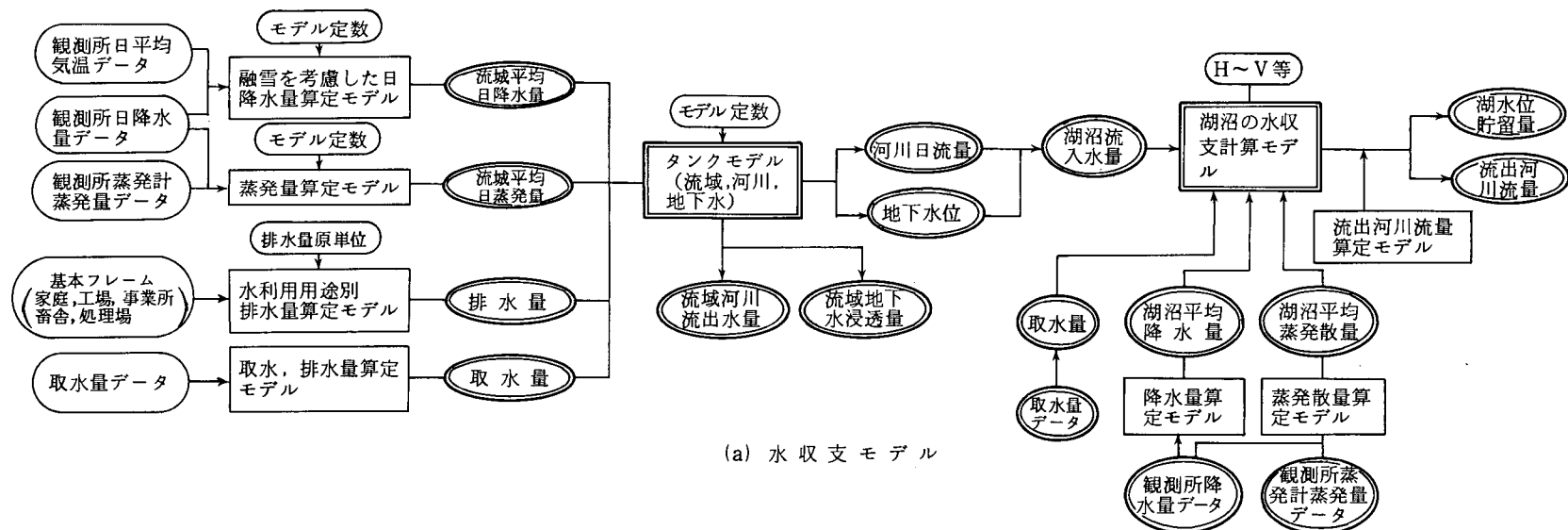


図-3.2 湖沼流域の水量・水質循環モデルの基本構造

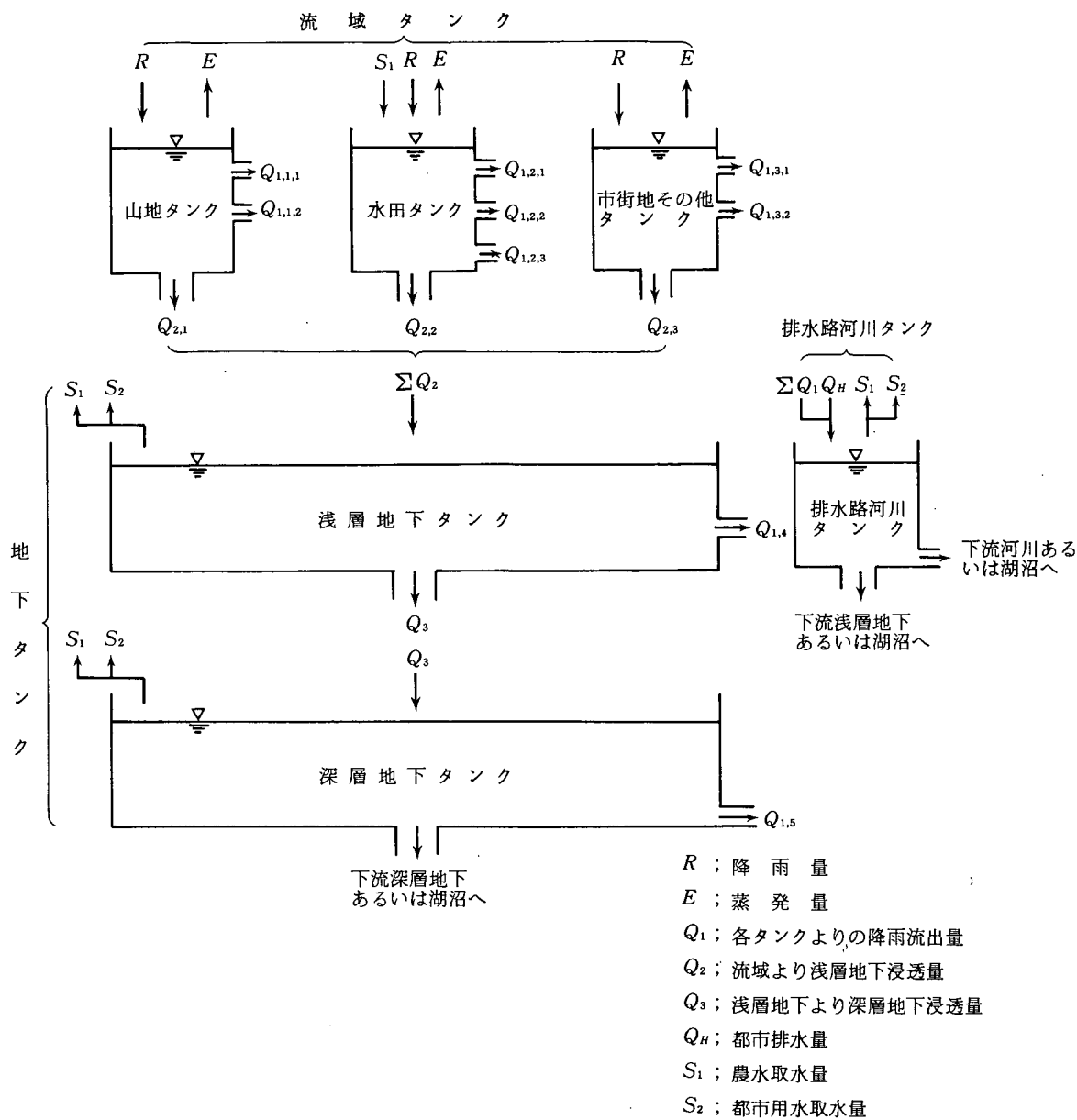


図-3.3 流域タンクモデル

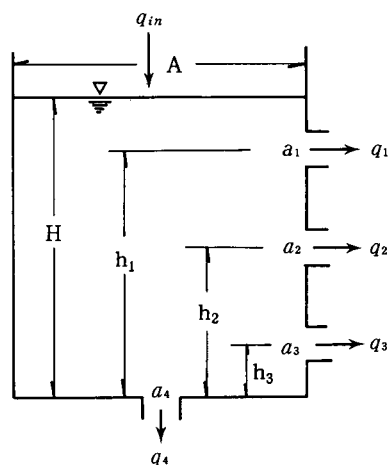


図-3.4 タンクの1例

① 日降水量算定モデル

流域内外の日降水量データから流域平均日降水量，または湖面平均日降水量を算定する。

$$R_{ave} = \sum(a_i \times R_i) \dots\dots\dots (3.4)$$

ここに，

R_{ave} ；流域平均日降水量(mm/日) a_i ；ティーンセン係数

R_i ；観測所日降水量(mm/日)

融雪を考慮する場合は次の通りとする。

$$R_{ave} = \sum R_j \dots\dots\dots (3.5)$$

ただし，

$T < 0$ の時 $R_j = 0, R_s = R_s + R_{j0}$

$T \geq 0$ の時 $R_j = R_{j0} + R_{mj}, R_s = R_s - R_{mj}$

$R_{j0} > 0$ の時 $R_{mj} = m \times T + R_{j0} \times T / 80$

$R_{j0} \leq 0$ の時 $R_{mj} = m \times T$

ここに，

R_j ；区域（例えば標高）別平均融雪込降水量(mm/日)

R_s ；区域（例えば標高）別平均積雪量(mm/日)

R_{mj} ；区域（例えば標高）別平均融雪量(mm/日)

R_{j0} ；区域（例えば標高）別平均降水量(mm/日)

T ；区域（例えば標高）別平均気温(°C)

m ；融雪係数(mm/日/°C)である。

② 日蒸発量算定モデル

観測所蒸発計蒸発量より流域の土地利用別日蒸発量を算定する。

$$E = n \cdot \sum(a_i \cdot E_i) \dots\dots\dots (3.6)$$

ここに，

E ；土地利用別日蒸発量(mm/日) E_i ；観測所蒸発計蒸発量(mm/日)

a_i ；代表係数 n ；蒸発係数（蒸発計蒸発量から水田，水田以外の地域，湖沼への換算係数）

であり，蒸発係数 n は対象流域の既往検討事例等を参考に設定する。

③ 排水量算定モデル

家庭，工場，事務所，畜舎及び処理場等の基本フレーム及び排水量原単位より各々の日平均排水量を算定する。

$$S = S_1 + S_2 \dots\dots\dots (3.7)$$

$$S_1 = \sum(g_{i1} \times F_{i1}) \dots\dots\dots (3.8)$$

$$S_2 = \sum(g_{i2} \times F_{i2}) \text{ or } \sum(Q_{iz}) \dots\dots\dots (3.9)$$

ここに，

S_1, S_2 ；未処理区域及び処理区域の日平均排水量(m³/日)

g_{i1}, g_{i2} ; 未処理区域及び処理区域の発生源別排水量原単位($\text{m}^3/\text{日}/\text{単位}$)

F_{i1}, F_{i2} ; 未処理区域及び処理区域の発生源別基本フレーム

Q_{i2} ; 処理区域処理水量($\text{m}^3/\text{日}$)

であり、対象とする基本フレーム、排水量原単位は表-3.1の通りとするが流域の特性に応じて変更する。

④ 取水量、還元量算定モデル

取水量データを入力条件として流域、河川、地下水及び湖沼においてそれぞれ取水量と排水量の形態を整理し算定する。

整理の様式を表-3.2に示す。

(3) 湖沼水収支モデル

湖沼の水収支計算にあたっては、まず湖水位を全水域ブロック同一水位（平衡水位）と考えて算出し、次に各水域ブロックへの流入量とその平衡水位から他ブロックへの移動水量を算定する。

① 湖水位の算定

湖沼全域について湖沼流入水量、湖面降水量、湖面蒸発量、取水量、湖沼の水位～湖容量関係($H \sim V$ 関係)及び流出河川流量（放流量）算定モデルより算定した放流量を入力条件として湖水位を次式で算出する。

$$\frac{dV}{dt} = R - E + Q_{in} - Q_{out} - Q_s \dots \dots \dots (3.10)$$

表-3.1 対象基本フレームと排水量原単位

No	排水源	項目	処理区	未処理区	
1	家庭	フレーム	流域内処理人口	水洗化人口	非水洗化人口
		原単位	1人当たり汚水量	1人当たり汚水量	1人当たり汚水量
2	工場	フレーム	製造品出荷額（中分類別）		
		原単位	業種別出荷額当たり排水量		
3	家畜	フレーム	飼育頭数（牛と豚）		
		原単位	1頭当たり排水量		
4	処理場	フレーム	処理水量（1～3とは重複しない）	――	
		原単位	――	――	

表-3.2 取水量・排水量整理様式

(m^3/s)

取	流 域		自 流 域			他 流 域					
						1					n
	水 源		河 川	湖 沼	地 下	河 川	湖 沼	地 下			地 下
水	上 水										
	工 水										
	農 水										
排	流 域		自 流 域			他 流 域					
						1					n
	排 出 先		河 川	湖 沼	地 下	河 川	湖 沼	地 下			地 下
水	処 理 場										
	農 水										

$$V = f_1(H) \cdots \cdots \cdots (3.11)$$

$$Q_{out} = f_2(H, Q_{in}) \cdots \cdots \cdots (3.12)$$

ここに,

V : 湖容量(m^3)

R : 湖面降水量(m^3 /日, 流量換算値)

E : 湖面蒸発量(m^3 /日, 流量換算値)

Q_{in} : 湖沼流入量(m^3 /日)

Q_{out} : 湖沼からの流出量 (放流量) (m^3/s)

Q_s : 取水量(m^3 /日)

H : 湖水位(m)

$f_1(H)$: 水位～湖容量関係

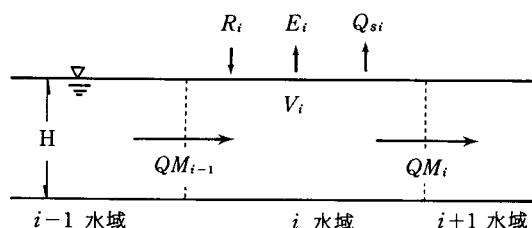
$f_2(H, Q_{in})$: 湖水位 (放流量) 制御ルール

② 水域ブロック間移動水量の算定

各水域ブロックについて流入量, 湖面降水量, 湖面蒸発量, 湖取水量, 水位～湖容量関係及び①で算定した湖水位を与えて他ブロックへの移動水量を算定する。第 i ブロックの水収支は次式で表される (図—3.5 参照)。

$$\frac{dV_i}{dt} = R_i - E_i - Q_{si} + Q_{Mi-1} - Q_{Mi} \cdots \cdots \cdots (3.13)$$

$$V_i = g_i(H) \cdots \cdots \cdots (3.14)$$



図—3.5 水域ブロック間移動水量の関係

ここに,

Q_{Mi-1} : $i-1$ 水域からの移動水量(m^3 /日)

Q_{Mi} : i 水域からの移動水量(m^3 /日)

$g_i(H)$: i 水域における水位～湖容量関係

(4) 湖沼水収支サブモデル

湖沼水収支サブモデルとしては, 湖面降水量, 蒸発量算定モデルと流出河川流量算定モデルがあるが, 前者の2つのモデルは流域水収支・流出サブモデルと同様である。流出河川流量算定モデルは湖水位, 湖沼流出量制御ルール (水門の操作ルールや湖沼の流出特性) を与えて流出河川流量 (放流量) を算定するモデルであり, 式 (3.12) に示す水位と流入量の関係となる。

3.3 負荷量モデル

負荷量モデルの基本構造は図—3.2 (b) に示すとおりである。負荷量モデルも水収支モデルと同様であり, ①流域の土地利用別負荷収支流出モデル, ②湖沼負荷収支モデルのメインモデルとそれらへの入力条件を加工するいくつかの負荷供給サブモデルより構成されている。負荷算定項目は COD , TP (総リン), TN (総窒

素)の3項目である。

(1) 流域負荷収支・流出モデル

流域負荷収支・流出モデルは水収支タンクモデルに対応して「流送能力・供給関数型」モデル^{5),6),7)}の考え方に従い山地タンク、水田タンク、市街地その他のタンク及び河川タンクの残存負荷タンクを設定する。「流送能力・供給関数型」モデルは、残存負荷量によって流出負荷量を修正し、出水等に起因する流量に対する負荷量の変動を説明するものである。ただし、地下タンクは滞留負荷タンクとする。図-3.6に負荷タンクモデルを示し、各タンクの負荷収支を以下のように表現する。

① 流域タンク

流域の残存負荷量、流出負荷量のうち地表面流出成分(第1段タンク流出量)に対応する流出負荷量は「流送能力・供給関数型」で設定するが、流域から地下への浸透流出成分については一旦地表面下に浸透した後の流出であるため残存負荷量や限界掃流量に関係しないと考え、流出量のみの関数で設定する。

以上から流域タンクの残存負荷量、流出負荷量は次式で表される。

$$\frac{dS_1}{dt} = L_{in} - (L_1 + L_2) \times 86,400 - K \cdot S_1 \quad (3.15)$$

$$L_{in} = L_R + L_N + L_K \quad (3.16)$$

$$L_1 = a \cdot S_1^b \cdot Q_1^d \cdot (Q_1 - Q_c) \quad (3.17)$$

$$L_2 = m \cdot Q_2^n \quad (3.18)$$

$$C_1 = L_1 / Q_1 \quad (3.19)$$

$$C_2 = L_2 / Q_2 \quad (3.20)$$

ここに、

S_1 ; タンク残存負荷量(g) L_{in} ; 流入負荷量(g/日) L_R ; 降雨負荷量(g/日)

L_N ; 自然負荷量(g/日) L_K ; 還元負荷量(水田のみ)(g/日)

L_1 ; 表面流出負荷量(g/s) L_2 ; 地下浸透負荷量(g/s) Q_1 ; 表面流出水量(m³/s)

Q_c ; 表面流出限界掃流量(m³/s) Q_2 ; 地下浸透水量(m³/s) C_1 ; 流出水質(g/m³)

C_2 ; 浸透水質(g/m³) K ; 減少係数(COD ; 生物分解(1/日), TN ; 脱窒(1/日))

a, b, d, m, n ; タンク流出定数

である。

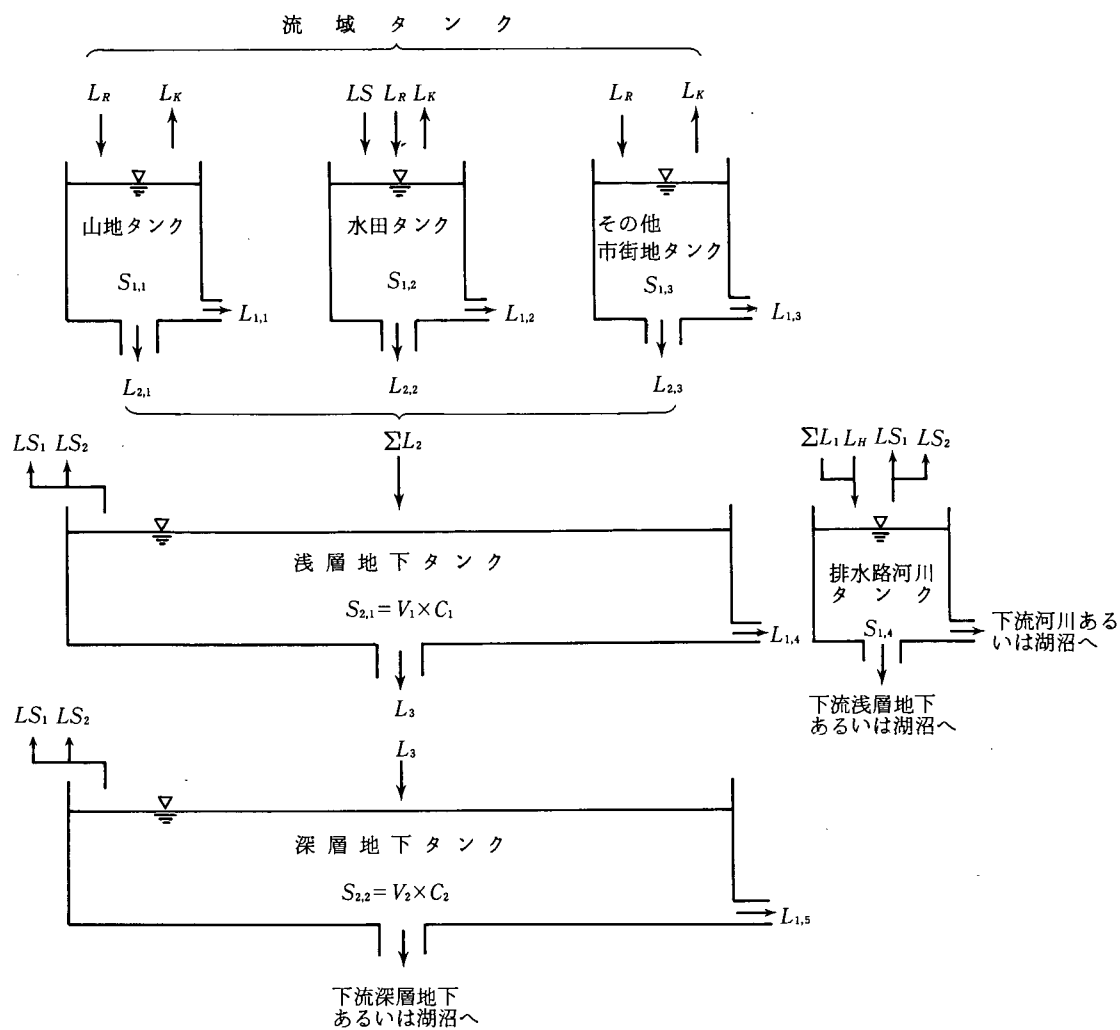
② 排水路・河川タンク

排水路・河川の残存負荷量、流出負荷量も流域タンクと同様の設定を行っているが、排水路、河川タンクにおいては地下タンクからの流出負荷量をタンクに流入させないで基底流出負荷量として直接流出させる。また、取水による負荷量の流出をとりこむため次式で表わす。

$$\frac{dS_1}{dt} = L_{in} - (L_1 + L_2 + L_s) \times 86,400 - K \cdot S_1 \quad (3.21)$$

$$L_1 = a \cdot S_1^b \cdot Q_1^d \cdot (Q_1 - Q_c) + L_g + L_p \quad (3.22)$$

$$L_2 = m \cdot Q_2^n \quad (3.23)$$



- L_R ; 降雨負荷量
- L_K ; 面源負荷量
- L_1 ; 各タンクよりの流出負荷量
- L_2 ; 流域よりの浅層地下浸透負荷量
- L_3 ; 浅層地下よりの深層地下浸透負荷量
- L_H ; 都市排出負荷量
- LS_1 ; 農水取水負荷量
- LS_2 ; 都市用水取水負荷量
- S_1 ; 残存負荷量 (滞留負荷量 + 蓄積負荷量)
- S_2 ; 滞留負荷量
- V ; タンク貯水量
- C ; 地下水水質

図-3.6 流域負荷タンクモデル

$$L_s = C_1 \times Q_2 \dots\dots\dots (3.24)$$

$$C_1 = L_1 / Q_1 \dots\dots\dots (3.25)$$

ここで,

L_{in} ; 河川流入負荷量 (流域タンクからの流出負荷量と未処理区排出負荷量) (g/日)

L_1 ; 河川流出負荷量(g/s) L_2 ; 地下浸透負荷量(g/s) L_s ; 取水負荷量(g/s)
 C_1 ; 河川水質(g/m³) Q_s ; 取水水量(m³/s)
 L_g ; 地下タンクからの流出負荷量 (基底負荷量) (g/s)
 L_p ; 処理区 (処理場等) 排出負荷量(g/s)

である。

③ 地下タンク

地下タンクでは負荷流出の形態が表面流出や河川流出と異なると考えられることから、完全混合型で地下水質流出負荷量を表す。また、地下タンクの残存負荷量には蓄積負荷量を考慮せず滞留負荷量のみを考える。

以上から、地下タンクの残存負荷量 (滞留負荷量) は次式で示される。

$$\frac{dS_2}{dt} = L_{in} - L - K \cdot S_2 \dots\dots\dots (3.26)$$

$$L = C \cdot Q \times 86,400 \dots\dots\dots (3.27)$$

$$C = S_2 / V \dots\dots\dots (3.28)$$

ここに、

S_2 ; タンク滞留負荷量(g)
 L_{in} ; 流入負荷量 (流域及び河川タンクまたは浅層地下タンクからの流出負荷量) (g/日)
 Q ; 地下タンクからの流出流量(m³/s) (流出流量, 浸透流量及び取水水量の合計)
 L ; 流出負荷量(g/日) C ; 地下タンク水質(g/m³)
 V ; タンク貯水量(m³) K ; 減少係数(1/日)

である。

(2) 流域負荷収支・流出サブモデル

流域負荷収支・流出サブモデルは水収支モデルで算定される日降水量, 取水量, 還元量さらには社会経済活動の基本フレーム, 負荷量原単位等を用いて流域負荷量を算出するもので, 日降水負荷量算定モデル, 面源負荷量算定モデル, 排水排出負荷量算定モデル, 取水負荷量算定モデルより構成される。

① 日降水負荷量算定モデル

水収支モデルでは算定した流域平均日降水量と雨水水質より日降水負荷量を算定する。

$$LR = R_{ave} \times CR \times A \times 1000 \dots\dots\dots (3.29)$$

ここに、

LR ; 日降水負荷量(g/日) R_{ave} ; 流域平均日降水量(mm/日)
 CR ; 雨水水質(COD, TN, TP)(g/m³) A ; 流域面積(km²)

② 面源負荷量算定モデル

面源負荷とは狭義には人為的汚濁のほとんど入っていないところでの負荷を意味するが, ここでは全流域について考慮するものとし, 土地利用別の面積とそれぞれの負荷量原単位より算定する。

$$LN = \sum (A_i \times gN_i) \dots\dots\dots (3.30)$$

ここに,

LN ; 面源負荷量(g/日) A_i ; 土地利用別面積(km²)

gN_i ; 面源負荷量原単位(g/日/km²), 面源負荷量原単位は流域特性より設定するものとする。

③ 排水排出負荷量算定モデル

家庭, 工場, 事業所, 畜舎, 処理場及び水産等の基本フレームと負荷量原単位より排出負荷量を算定する。

$$LT = LT_1 + LT_2 \dots\dots\dots (3.31)$$

$$LT_1 = \sum(g_{i1} \times F_{i1} \times r_{i1}) \dots\dots\dots (3.32)$$

$$LT_2 = \sum(g_{i2} \times F_{i1} \times r_{i1}) \text{ or } \sum(Q_{i2} \times C_{i2}) \dots\dots\dots (3.33)$$

ここに,

LT_1, LT_2 ; 未処理区域及び処理区域の排出負荷量(g/日)

g_{i1}, g_{i2} ; 未処理区域及び処理区域の発生源別負荷量原単位(g/日/単位)

F_{i1}, F_{i2} ; 未処理区域及び処理区域の発生源別基本フレーム

r_{i1}, r_{i2} ; 未処理区域及び処理区域の負荷量排出率

Q_{i2}, C_{i2} ; 処理水量及び処理水質(排水水質)(m³/日, g/m³)

であり, 対象とする基本フレームは水収支モデルの排水量算定モデルと同様とする。負荷量原単位は表-3.3に示す通りとするが, いずれも流域特性に応じて設定する。

表-3.3 対象排出負荷量原単位

No	排水源	未処理区	処理区
1	家庭	1人当たり排出負荷量	——
2	工場	業種別出荷額当たり排出負荷量	——
3	家畜	1頭当たり排出負荷量	——
4	処理場	——	処理水質(排水水質)

④ 取水負荷量算定モデル

水収支モデルの取水量還元量算定モデルで整理した取水の形態から取水となるか流入(還元)となるかを整理し取水該当水域の水質から取水負荷量を算定する。

(3) 湖沼負荷量算定モデル

排水路・河川及び地下水からの流入負荷量, 降水負荷量, 水産負荷量, また水収支モデルより得られた湖容量, 水域ブロック間移動水量より湖沼滞留負荷量及び流出河川負荷量, 取水負荷量を算定する。得られた負荷量から連続の式を用いることにより, i 水域における負荷量収支を次式で表す。

$$\frac{dL_i}{dt} = \frac{d(C_i \cdot V_i)}{dt} = L_{ini} - L_{outi} + \Delta L_i \dots\dots\dots (3.34)$$

ここに,

L_i ; i 水域における湖内滞留負荷量(g)

C_i ; i 水域における湖水質(g/m³)

V_i ; i 水域における湖貯留量(m^3)

L_{ini} ; i 水域への流入負荷量(g/日)

L_{outi} ; i 水域からの流出負荷量(g/日)

ΔL_i ; i 水域における湖沼内部負荷量(g/日)

また,

$$L_{ini} = LI_{1i} + LI_{2i} + LI_{3i} + LI_{4i} + LI_{5i} \dots\dots\dots (3.35)$$

$$L_{outi} = LO_{1i} + LO_{2i} + LO_{3i} \dots\dots\dots (3.36)$$

ここに,

LI_{1i} ; 排水路, 河川からの流入負荷量(g/日)

LI_{2i} ; 地下水からの流入負荷量(g/日)

LI_{3i} ; 降水負荷量(g/日)

LI_{4i} ; 水産負荷量(g/日)

LI_{5i} ; 湖内他ブロック等からの流入負荷量(g/日) = $QM_{i-1} \times C_{i-1}$

LO_1 ; 取水負荷量(g/日) = $Q_s \times C_i$

LO_2 ; 湖内他ブロックへの流出負荷量(g/日) = $Q_{Mi} \times C_i$

LO_3 ; 流出河川負荷量(g/日) = $Q_{outi} \times C_i$

湖内部負荷量 ΔL は湖沼水域における底泥からの溶出や生物生産による負荷量増分, 負荷の沈降や生物分解による減少分の総量を表わしたもので, ここでは実績の年間変動を考慮し図-3.7 に示すような季別変動パターンで設定するものとする。

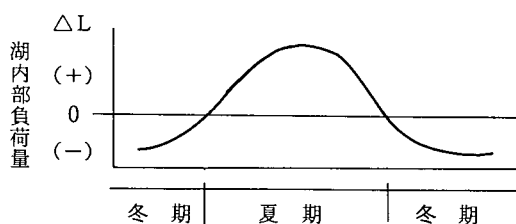


図-3.7 湖内部負荷量の季別変動パターン

(4) 湖沼負荷量算定サブモデル

湖沼負荷量算定サブモデルは湖面降水負荷量算定モデルと水産負荷量算定モデルがあるが前者は流域負荷量モデルと同様である。水産負荷量算定モデルは, 水域ブロックにおける網生簀等の生産高または投餌量を基本フレームとし, それらの排出負荷量原単位から水産負荷量を算定する。但し, 生産高をフレームとする場合は年間の投餌パターン等から負荷量の年間変化パターンを設定する必要がある。

$$LA = F \times g \dots\dots\dots (3.37)$$

ここに,

LA ; 水産負荷量(g/日)

F ; 生産高 (または投餌量)

g ; 水産負荷量原単位(g/日/投餌量または生産高)

である。

以上, タンク別のモデルの概略を表-3.4 に比較して示す。

表-3.4 水収支、負荷収支タンクモデル概要

タンク モデル	流 域 タ ン ク	河 川 排 水 路 タ ン ク	地 下 タ ン ク
水 収 支	$\frac{dH_o}{dt} = q_{in} - q_{out} - q_{inf}$ $Q_{out} = q_{out} \times A$ $Q_{inf} = q_{inf} \times A$ $q_{out} = \sum a_s \cdot (H - h_s)$ $q_{inf} = H_o$ $H_o : \text{タンク水位}$ $q_{in} : \text{タンク流入高}$ $q_{out} : \text{タンク流出高}$		
負 荷 収 支	$\frac{dS}{dt} = L_{in} - L_{out} - L_{inf} - K \cdot S$ $L_{out} = a \cdot S^b \cdot Q_{out}^d \cdot (Q_{out} - Q_c)$ $L_{inf} = m \cdot Q_{inf}^n$ $S : \text{残存負荷量}$ $L_{in} : \text{流入負荷量}$ $L_{out} : \text{流出負荷量}$ $L_{inf} : \text{浸透負荷量}$ $K : \text{減少係数}$ $Q_c : \text{限界浸流量}$ $a, b, d, m, n : \text{モデル定数}$	$\frac{dS}{dt} = L_{in} - L_{out} - L_{inf} - L_s - K \cdot S$ $L_{out} = a \cdot S^b \cdot Q_{out}^d \cdot (Q_{out} - Q_c) + L_g$ $L_{inf} = m \cdot Q_{inf}^n$ $L_s = C \times Q_s$ $C = L_{out} / Q_{out}$ $L_g : \text{基底流出負荷量}$ $L_s : \text{取水負荷量}$ $Q_s : \text{取水量}$ $C : \text{河川排水路水質}$ その他は、流域タンクと同様	$\frac{dS}{dt} = L_{in} - L_{out} - L_{inf} - L_s - K \cdot S$ $L_{out} = S / V \times Q_{out}$ $L_{inf} = S / V \times Q_{inf}$ $L_s = S / V \times Q_s$ $V : \text{地下タンク容量}$ その他は、流域タンク、河川排水路 タンクと同様

3.4 数値計算手法

前節で述べた水量・水質循環モデルの未知変数を求めて現象解析を行っていく訳であるが、このような複雑なシステムモデルの求解には電子計算機を使用することが不可欠である。本モデルのような求める変数レベルに相互関連のあるモデルの数値計算法に *SD* (*System Dynamics*) モデル法^{8),9)}があり、これにより諸々の基本方程式からなる全体モデルを統一的に表現することが可能である。

(1) *SD* モデルの基本構造

SD モデルは制御されたフローによって相互に連結されたレベルが交互に現われる構造になっている。モデルの基本構造を図-3.8 に示すが以下の4つの本質的特徴を有している。

- ① いくつかのレベル (□)
- ② ひとつのレベルの内容を他のレベルに伝達するフロー (→)
- ③ レベル間のフローのレート^{レートの意味は速度}を制御する意思決定機構 (◇)
- ④ 意思決定機構をレベルに結びつける情報のチャンネル (---→)

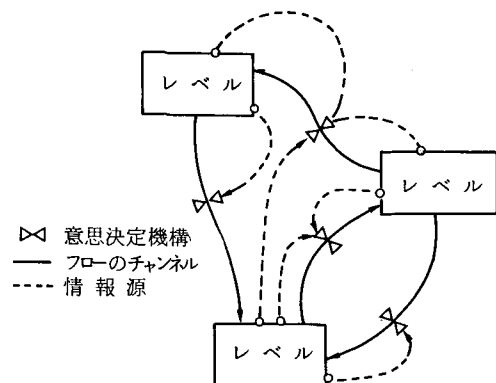


図-3.8 *SD* モデルの基本構造

システムモデルのダイナミックな変化は、システムを構成するいくつかのレベルとフロー（流れ）のレートが相互に連結されたネットワークを作りあげ、まずレベルに関する情報を基にしてフローのレートを左右する意志決定が行なわれ、そのフローレートがレベルの変化を招くという閉じたループをなす情報フィードバックシステムの存在による。

(2) モデルの基本方程式

モデル化された SD 方程式系は、前の時点でわかっている状態を基に、新しい時点におけるシステムの状態をどのようにして算出するかを示すものである。方程式の連続的な時間の流れは同じ長さの時間間隔 dt の刻みで分けられ、この区間内でフローは一定であると仮定する（図-3.9）。

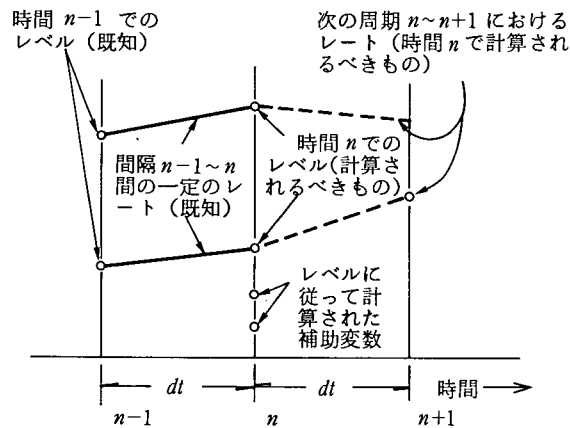


図-3.9 SD 法による時間軸方向の計算

システムの時間変化は、時間間隔 dt で区切られた時間点で評価され、時間ステップ $n-1, n, n+1, \dots$ の順に dt の時間間隔だけ進み、同じ計算過程を周期的に繰り返して、次々にシステムの新しい状態を追跡するものである。

モデルの基本方程式はレベル方程式とレート方程式の2つからなる。レベル方程式は式 (3.38) のように表現され、時刻 $n-1$ でのレベルと間隔 $n-1 \sim n$ におけるレートに基づく時刻 n でのレベルの求め方を示すもので、その形式は1ステップ毎の積分を用いる1次の差分方程式である。なお、SD では高い精度を要求する数値計算を行う必要はなく、システム自身のフィードバック特性から解は四捨五入などの誤差にあまり左右されない。

$$S_n = S_{n-1} + dt \cdot (I_{n-1, n} - O_{n-1, n}) \dots\dots\dots (3.38)$$

ここに、

S_n : 変数 S の n 時点での値

S_{n-1} : 変数 S の $n-1$ 時点での値

dt : 計算の時間間隔

$I_{n-1, n}$: $n-1 \sim n$ 間のインフローレート

$O_{n-1, n}$: $n-1 \sim n$ 間のアウトフローレート

次に、レート方程式はレベル方程式の評価が済んだ後、現在時刻 n で評価される意志決定機構である。すなわち、システムの諸レベルが計算された後、 n 時点における次の時間間隔 $n \sim n+1$ で起こるであろう行動を表わすフローレートを決めることになる。

$$O_{n,n+1} = a \cdot S_n \dots\dots\dots (3.39)$$

ここに,

$O_{n,n+1}$; $n \sim n+1$ 間のアウトフローレート a ; 定数 S_n ; 変数 S の n 時点における値

なお、レート方程式をレベルだけで定式化しようとするとは非常に複雑になることが多い。従って、補助変数を定義してレート方程式をいくつかの(補助)方程式に分けると便利である。また、補助方程式は意志決定に関与する多くの要素を個々に定義するのに使うことができるから、実際のシステムのモデル化には非常に有効である。

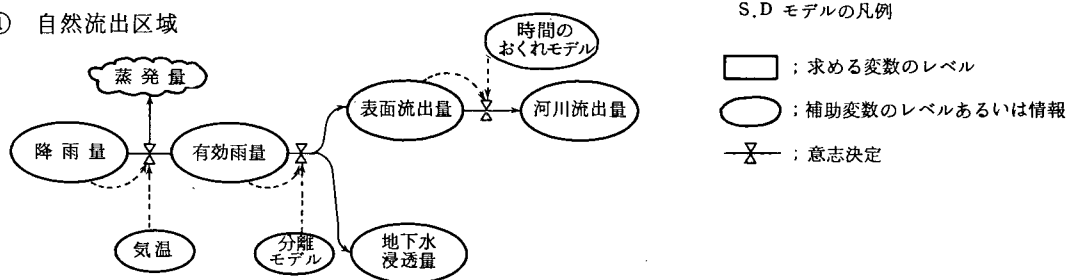
各方程式は、ある特定の時間ステップの中では互いに独立であり、レベル方程式は時刻 n より前の情報にのみ依存し、直後に起こる行動を決めるものである。

以上の SD 法の考え方にしたがって、水量・水質循環モデルの SD モデル表示を行う訳であるが、図—3.10～3.11 にそのフローを示す。

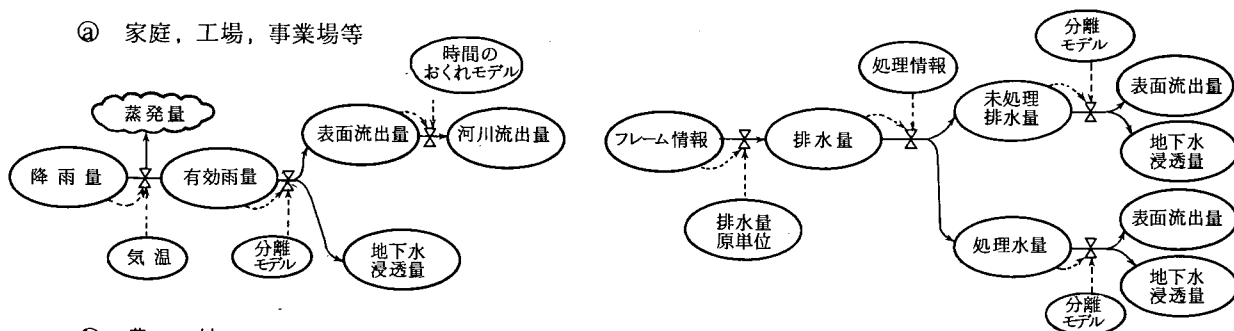
尚、情報フィードバックシステムのダイナミックな特性を作り出す上で遅れはきわめて重要である。レベルとレベルを結ぶフローにせよ、レベルとレートを結ぶ情報のフローにせよ厳密には時間的な遅れを持っているはずである。しかし、実用上はシステム全体の変化にとって重要と考えられる遅れに限って、適宜モデルに導入するのが良いと考えられる。

計算の時間間隔 dt については、得られるデータのサンプリング間隔、再現時間スケールさらには演算時間や費用等を勘案して設定することになるが、従来よりこの種のモデルでは1日程度で十分であろう。しかしながら、洪水時の湖内水位変動の激しい時や水域ブロック間の移動水量が大きい場合には計算の安定性を確保するために、時間間隔 dt をさらに小さくする必要があると思われる。

① 自然流出区域



④ 家庭、工場、事業場等



The diagram illustrates the water balance model. It starts with precipitation (降雨量) which is reduced by evaporation (蒸発散量) to become effective precipitation (有効降雨量). This effective precipitation is then split into surface runoff (表面流出量) and field effective water (田面有効量). The field effective water is stored in field storage water (田面貯留水), which is also influenced by evaporation (蒸発散量) and temperature (気温). The field storage water then infiltrates the soil (土壌浸透量), which is also influenced by evaporation (蒸発散量) and temperature (気温). The soil infiltration leads to groundwater infiltration (地下水浸透量), which is modeled by the groundwater separation model (地下水と還元の分離モデル). The model also considers water rights (水利権量) and crop water depth information (かんがい面積減水深情報) to determine the required water (必要水量) and actual water extraction (実際取水量), which is then used to calculate the field effective water (田面有効量).

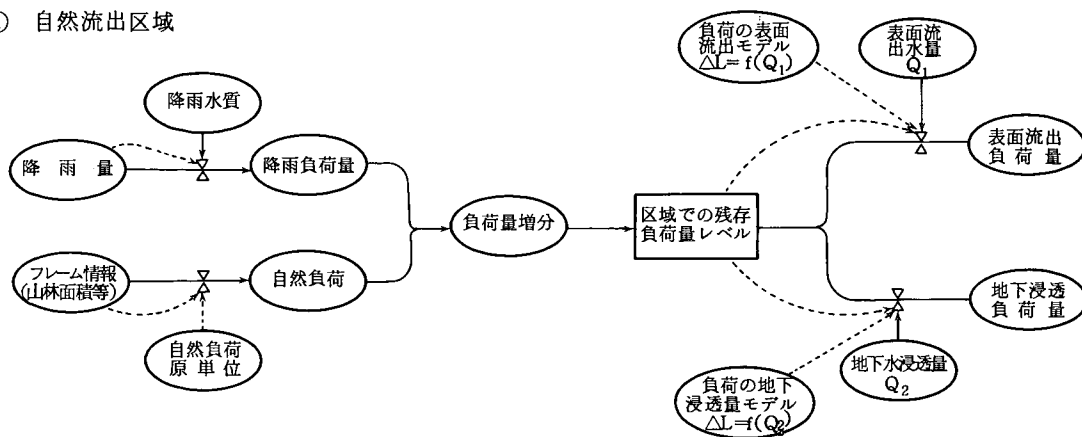
The diagram illustrates the water resource management model, showing the flow of water between various components and the influence of external factors. The main components and their interactions are as follows:

- 河川流量 (River Flow):** Receives input from **自然流出区及び水利用区域よりの河川流出量** (River outflow from natural outflow and water utilization areas). It is controlled by a valve (represented by a circle with a cross) and has a feedback loop to **湖水位** (Lake Level).
- 地下水流出量 (Groundwater Outflow):** Receives input from **地下水位** (Groundwater Level) and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.
- 地下水位 (Groundwater Level):** Receives input from **自然流出区及び水利用区域よりの地下水浸透量** (Groundwater infiltration from natural outflow and water utilization areas). It is controlled by a valve and has a feedback loop to **湖水位**.
- 湖水位 (Lake Level):** Receives input from **河川流量** and **地下水流出量**. It is controlled by a valve and has a feedback loop to **流出河川流量** (Outflow River Flow). It also receives input from **降雨量** (Rainfall) and **気温** (Air Temperature) via a dashed line.
- 流出河川流量 (Outflow River Flow):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.
- 取水 (Water Extraction):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.
- 蒸発量 (Evaporation):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.
- 浸透量 (Infiltration):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **地下水位**.
- 取水 (揚水量) (Water Extraction (Pumping Volume)):** Receives input from **地下水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **地下水位**.
- 降雨量 (Rainfall):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.
- 気温 (Air Temperature):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.
- 水位操作ルール (Water Level Operation Rules):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.
- H~Q式 (H~Q Formula):** Receives input from **湖水位** and is controlled by a valve. It has a feedback loop to **湖水位**.

図-3.10 水収支モデルのSDフロー

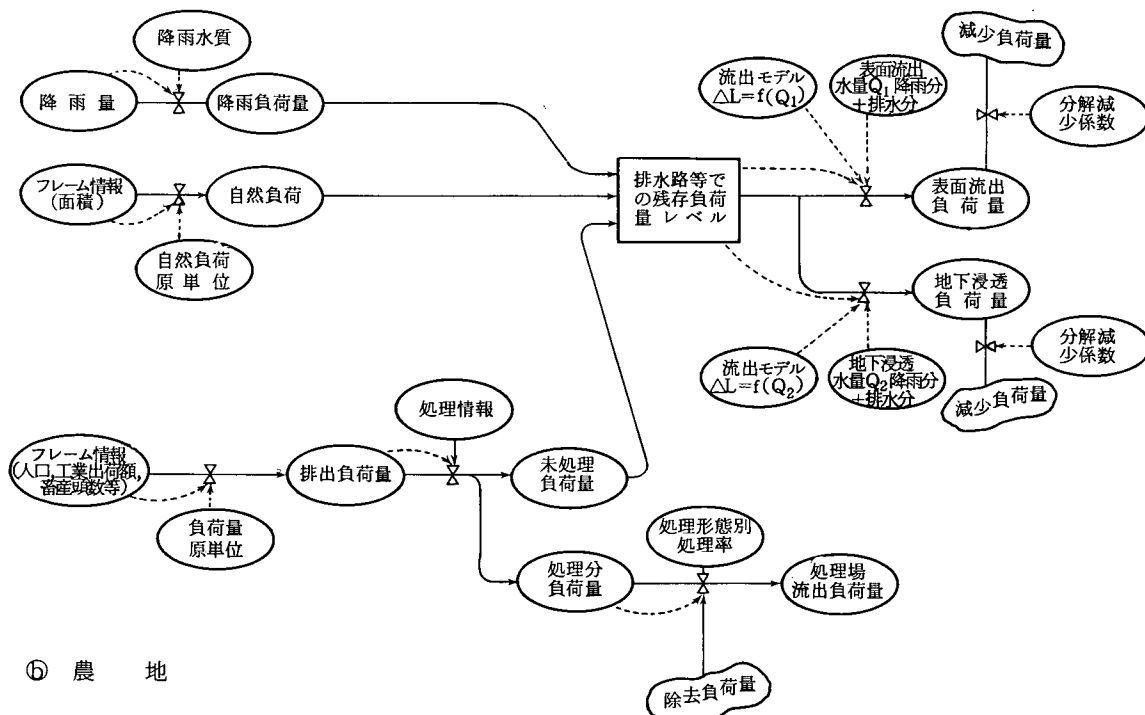
(1) 流域の土地利用別負荷量モデル

① 自然流出区域



② 水利用区域

② 家庭、工場、事業場等



③ 農地

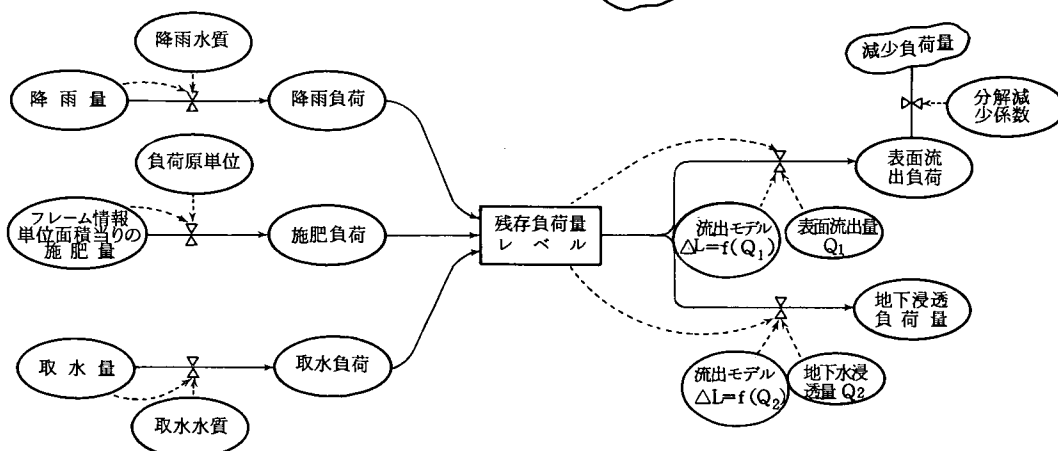


図-3.11(1) 負荷量モデルのSDフロー (その1)

(2) 河川、地下水、湖沼の負荷量モデル

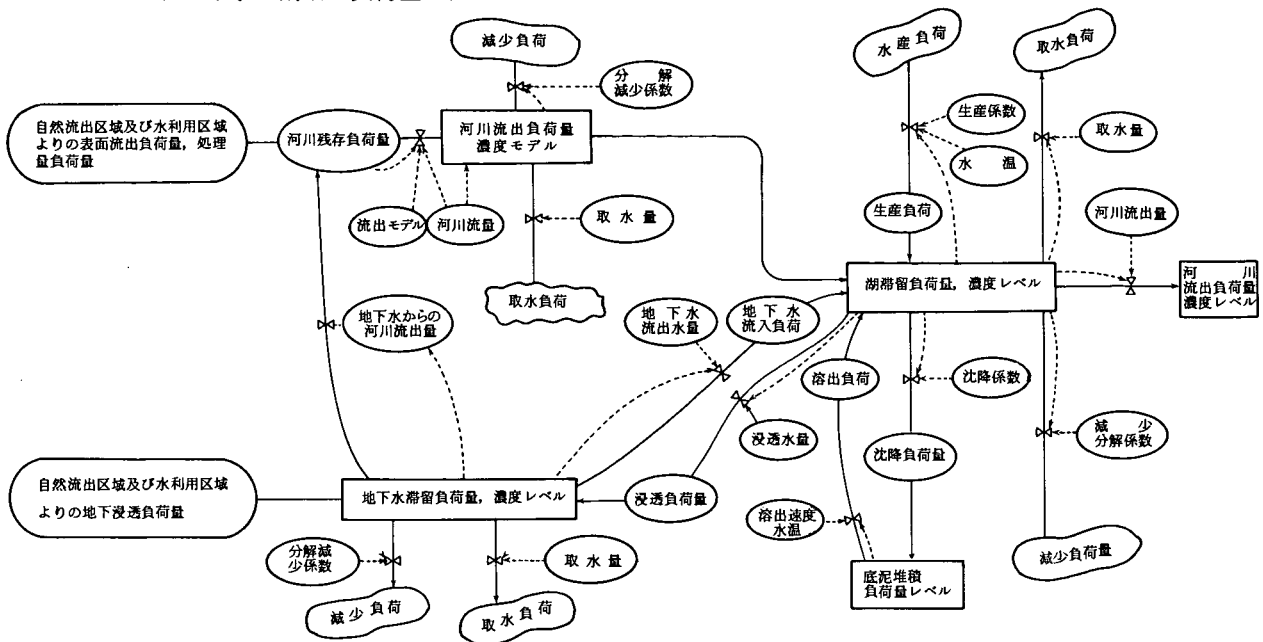


図-3.11(2) 負荷量モデルのSDフロー（その2）

3.5 実湖沼流域への適用結果

前節で述べた水量・水質循環モデルを実湖沼に適用し、その妥当性について検討を加えた。対象湖沼としては、水質汚濁が社会的にも問題となっている富栄養湖（*K*湖、*S*湖の二湖沼）を取りあげた。両湖沼とも水質汚濁に伴う種々の障害が発生し、各種水質保全対策が検討されており、水量・水質に関する観測も綿密に実施されている。従って、本モデルの同定・検証を行うには適切な湖沼と考えられる。さらには、*K*湖は河川下流部の低地、*S*湖は上流部の高地に位置し、湖沼の位置特性の違いが水量・水質循環機構に及ぼす影響を検討するのにも好都合である。

3.5.1 *K*湖流域への適用

*K*湖とその流域の概略を図-3.12に示す。*K*湖は、流域面積約2,200 km²、その水面標高が海拔1 mの典

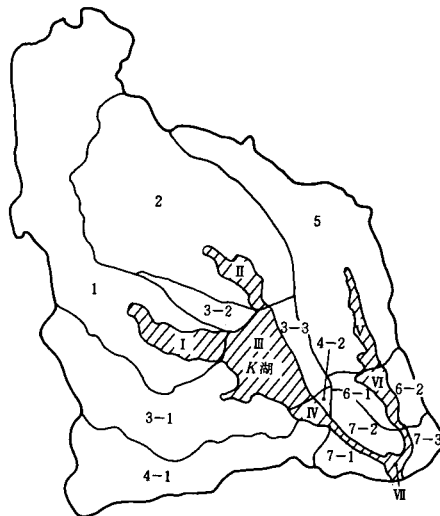


図-3.12 *K*湖流域概略図

型的な低平地の海跡湖である。また、平均水深 4 m、最大水深は 7 m の非常に浅い、風の影響を受け易い湖でもある。この K 湖は治水、利水に重要な役割を果たすとともに、その風光明媚な自然景観は人々の憩いの場として広く親しまれてきた。しかしながら、近年の著しい流域の開発にともなう流入汚濁物質の増加の結果、湖内の水質汚濁、富栄養化現象が促進され、プランクトン異常発生による異臭味や外観障害、網生質養殖鯉の大量死など大きな社会問題を引き起こしており、適切な対策が望まれているところである。

3.5.1.1 モデルの同定

水量・水質循環モデルの同定計算を以下に述べる条件にしたがって行った。同定結果については(6)で詳細に考察する。

(1) 計算期間及び計算時間間隔

モデル定数同定のための計算対象年は資料の存在状況、流況、水質状況を勘案して昭和 52 年 1 月 1 日から昭和 53 年 12 月 31 日までの 2 年間とした。計算及び出力の時間間隔は入力データならびに実測データの時間ピッチから 1 日とした。

(2) 水域及び流域の分割

水域及び流域の分割は、昭和 52 年については図-3.12 に示すように 7 ブロックに、昭和 53 年は 3, 4 ブロック, 5, 6 ブロックをそれぞれ併せて計 5 ブロックとした。

(3) 入力諸データ

降水量、蒸発量など図-3.2 に示す入力条件は各実測資料(図-3.13)をもとに設定した。ただし、排出水量及び排出負荷量の原単位は既往検討結果¹⁰⁾及び流域別下水道整備総合計画調査指針¹¹⁾等により設定した。また湖内内部負荷量についても既往検討結果をもとに月別、水域別に与えた。

(4) モデル定数の設定

水収支タンクモデル及び負荷タンクモデルの定数は、建設省河川砂防技術基準(案)¹²⁾のほか既往文献^{5), 6), 7), 13)}を参考に設定した。今回の同定計算で用いたモデル定数を表-3.5~3.6 にまとめて示す。

(5) 再現項目

各ブロック毎の流域から湖沼への流入河川流量、流入河川水質(COD, TP, TN)、地下水位ならびに湖水位とした。

(6) 同定計算結果

1) 水量計算結果

図-3.14 に昭和 52, 53 年の湖水位、湖沼流入量、水域毎の流入量さらに地下水位の同定計算結果を示す。また、モデル計算による K 湖流域の年間水量収支の概略を図-3.15 に、実績資料による同様の水量収支図を昭和 52 年について作成し図-3.16 に併せて掲載した。ここで、湖水位は全水域ブロック同一水位としているため、その平衡水位を湖心での観測データで比較検証している。また、地下水位は流域内 2ヶ所で観測を行っているが、データの欠測等により流域 3 での観測結果のみで比較している。

これらの適用結果より、湖水位ならびに湖沼流入量とも全計算期間を通して比較的良好な再現性を示しているといえよう。しかしながら、湖水位の経時変化を見れば、まず昭和 52 年 6 月に 20 cm 程度の誤差が生じている。これは 6 月がかんがい期にあたることから、

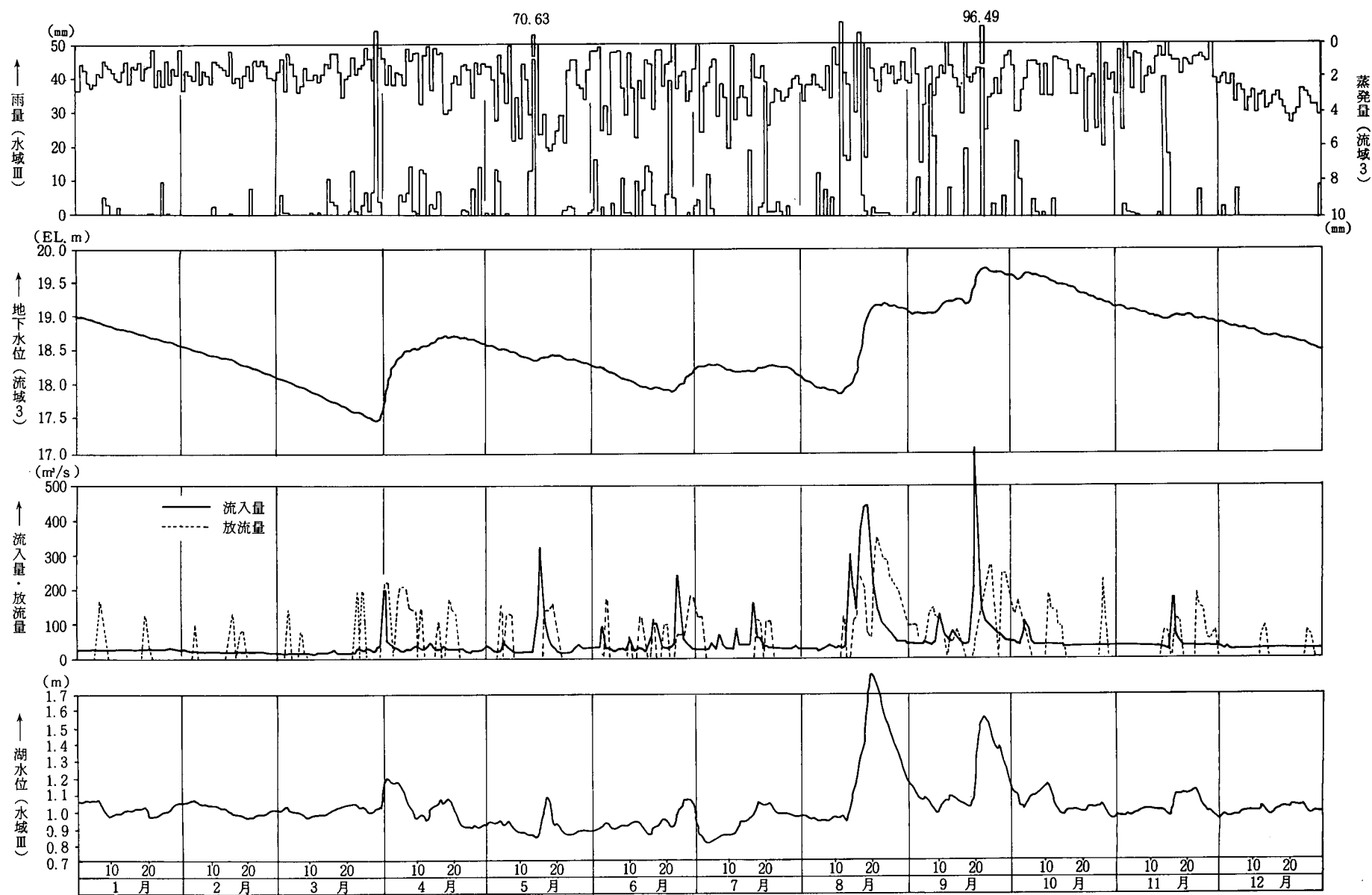


図- 3.13 K湖水理・水文実測データ (昭和52年)

表-3.5 水収支タンクモデル定数

タンク		山地タンク		農地タンク		その他のタンク	
流出孔係数		高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)
流出孔	1	70.0	0.15	50.0	0.10	50.0	0.50
	2	30.0	0.10	10.0	0.10	10.0	0.20
	3	0.0	0.10	0.0	0.10	0.0	0.10
	4	0.0	0.25	0.0	0.25	0.0	0.10
初期値		0.0	—	0.0	—	0.0	—
タンク		浅層地下タンク		深層地下タンク		河川タンク	
流出孔係数		高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)
流出孔	1	50.0	0.50	1,000.0	0.005	0.0	0.99
	2	0.0	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	0.008	0.0	0.0
	4	0.0	0.10	0.0	0.002	0.0	0.0
初期値		10.0	—	130.0	—	初期流量	—

表-3.6 負荷タンクモデル定数

水質項目		<i>COD</i>	<i>TN</i>	<i>TP</i>
モデル定数				
※1 表層, 河川タンク 流出定数 $L = a \cdot S^b \cdot Q^d \cdot (Q - Q_c)$	<i>b</i>	1.0	1.0	1.0
	<i>d</i>	0.5	0.0	0.5
	※2 Q_c	0.0	0.0	0.0
	S_o	※3 晴天時日蓄積負荷量の40日分 (前降雨までの日数分)		
地下浸透定数	<i>m</i>	0.03	0.06	0.001
	<i>n</i>	2.0	2.0	2.0

※1 全流域共通

※2 定数同定化簡略化のため0.とした。

※3 $[\text{晴天時日蓄積負荷量}] = [\text{流域日排出負荷量}] - [\text{晴天時日流出負荷量}]$

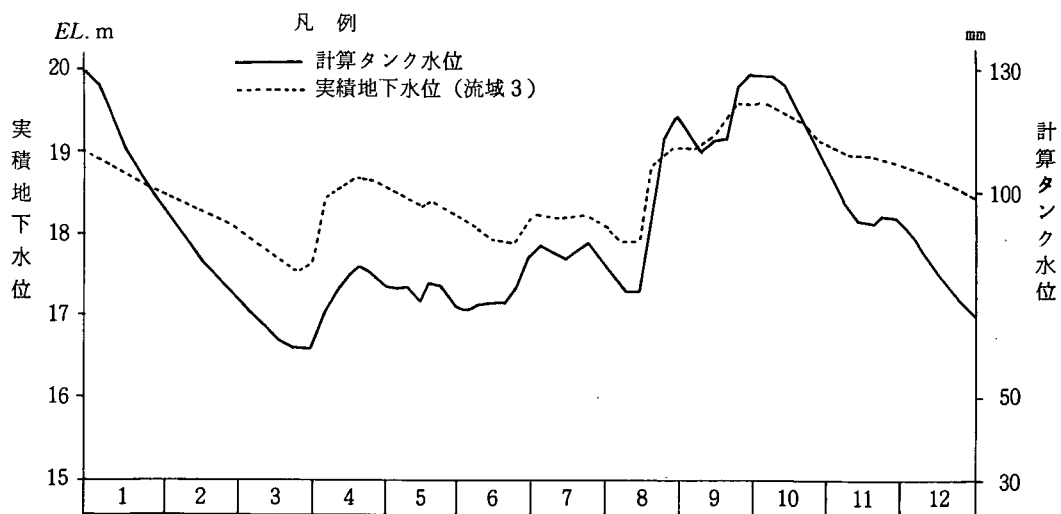
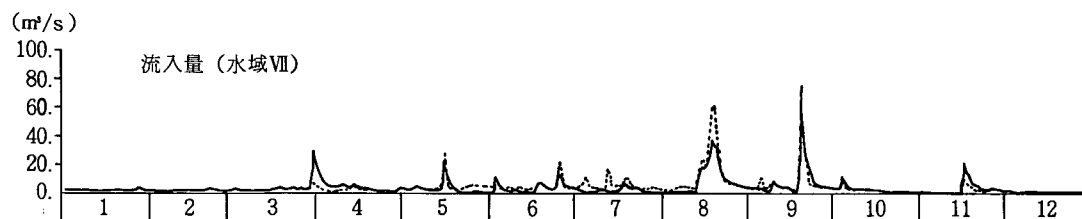
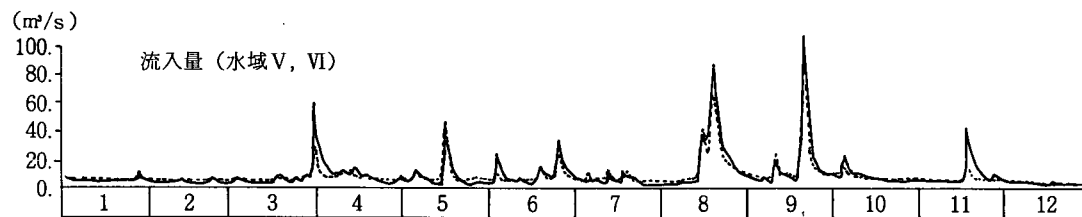
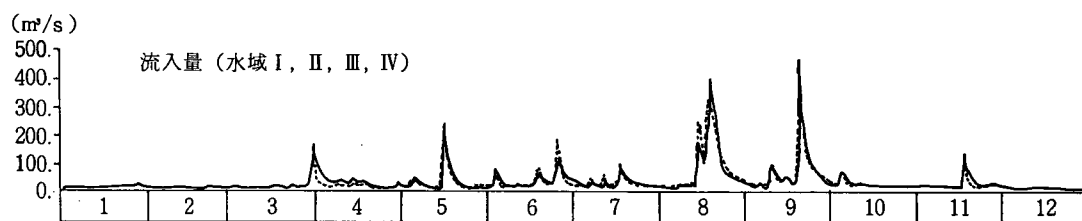
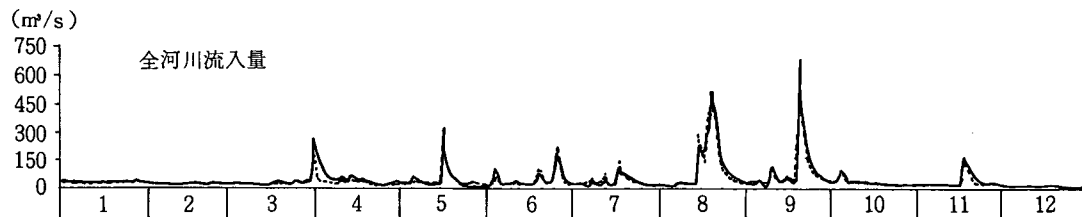
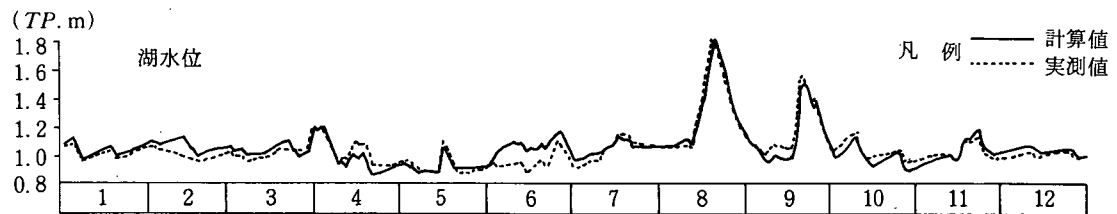


図-3.14(1) K 湖湖水位, 流入河川流量, 地下水位同定計算結果 (昭和52年)

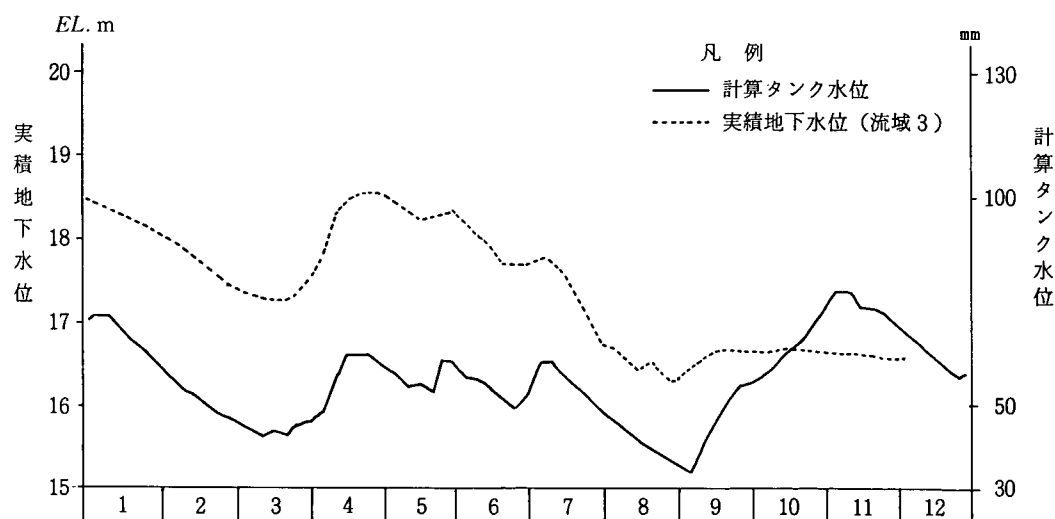
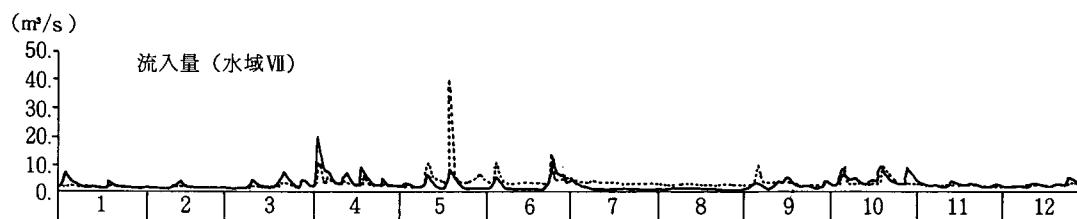
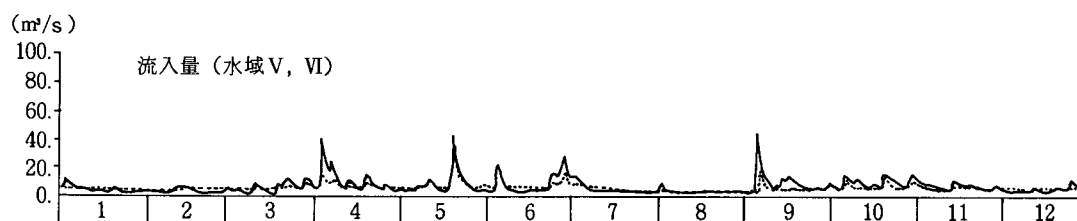
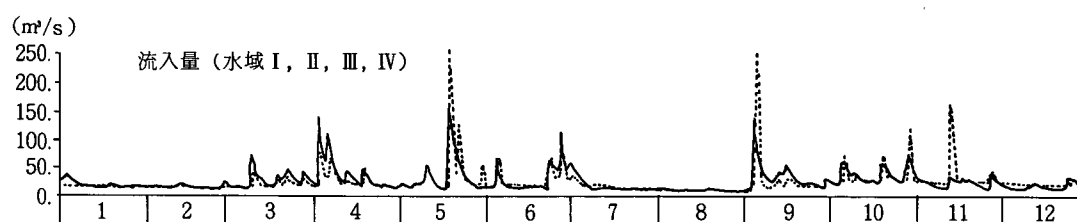
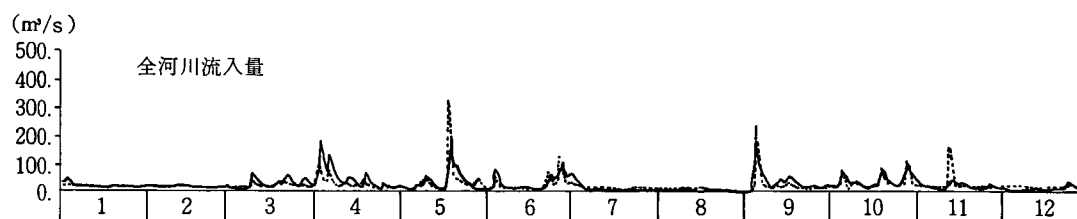
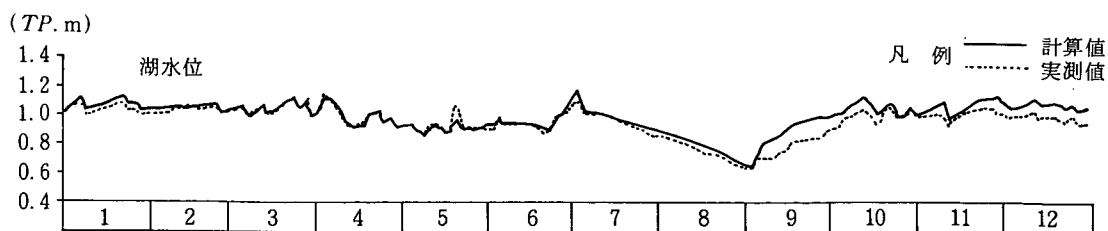
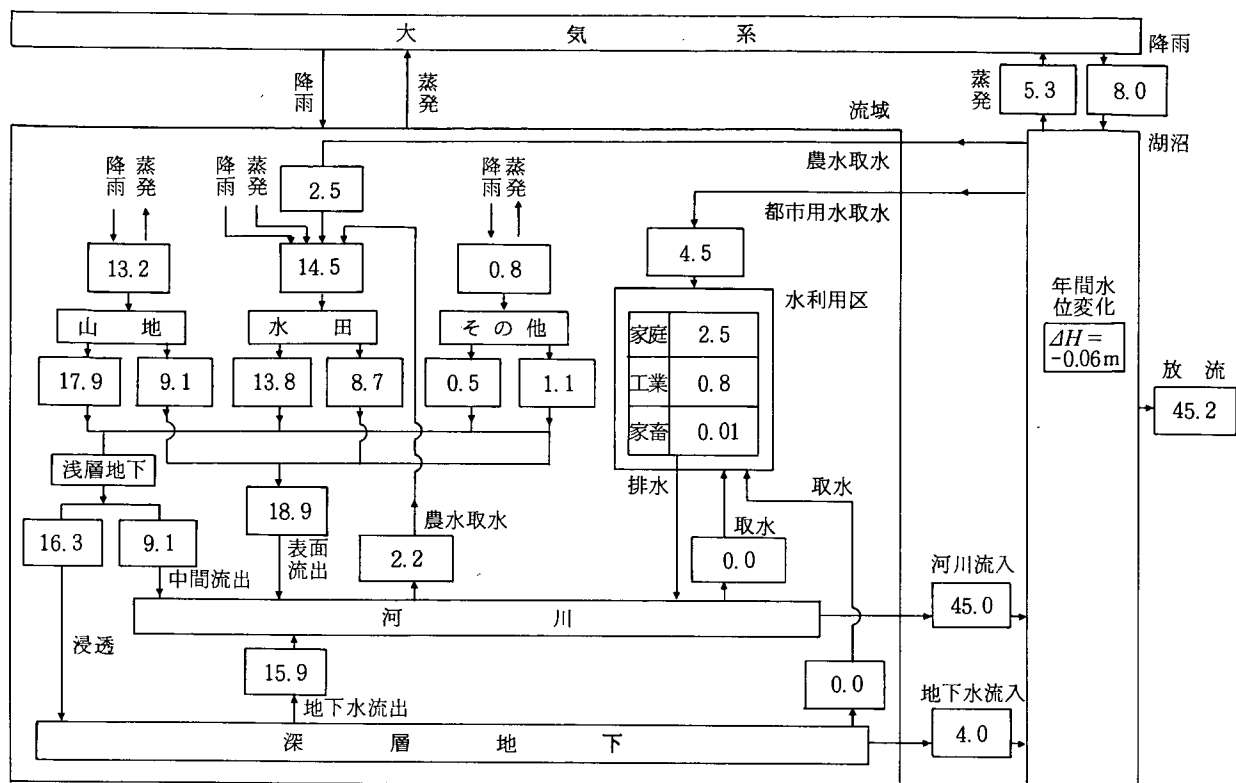
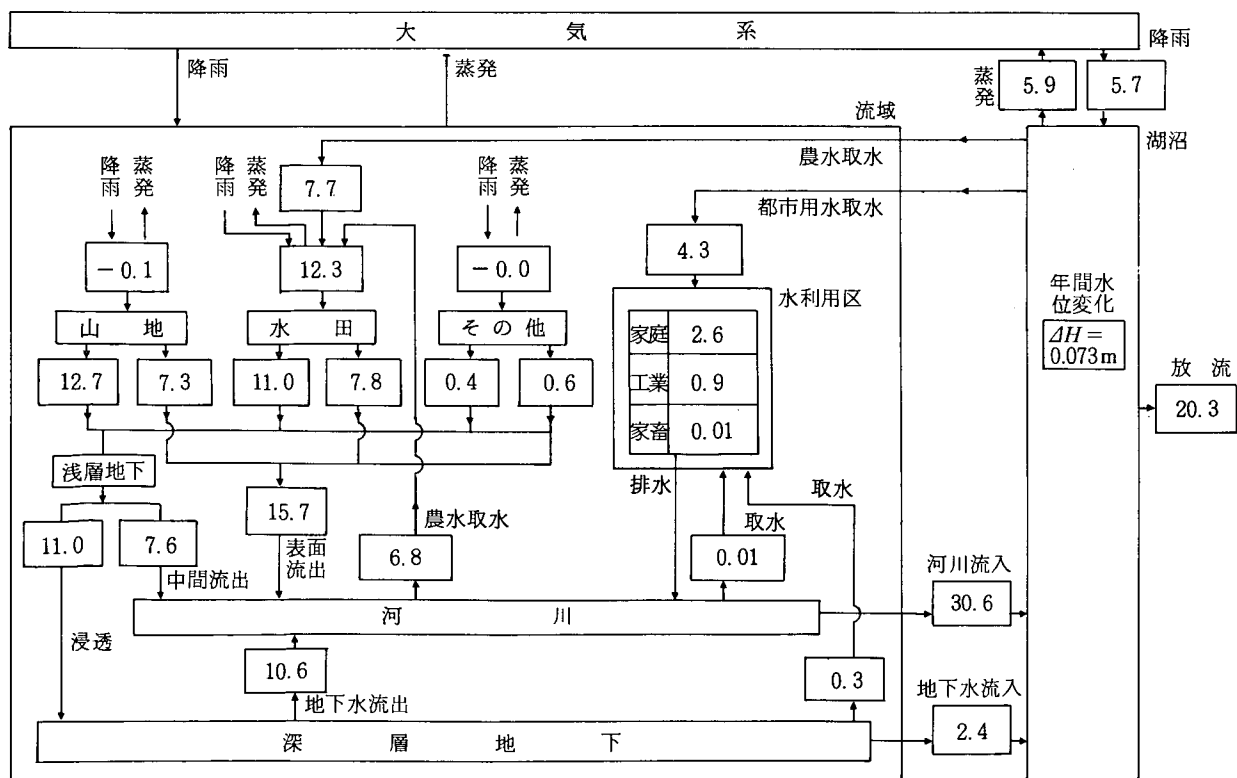


図-3.14(2) K 湖湖水位, 流入河川流量, 地下水位同定計算結果 (昭和53年)



図－ 3.15(1) モデル計算によるK湖流域水量収支 (S.52)(単位 m^3/s)



図－ 3.15(2) モデル計算によるK湖流域水量収支 (S.53)(単位 m^3/s)

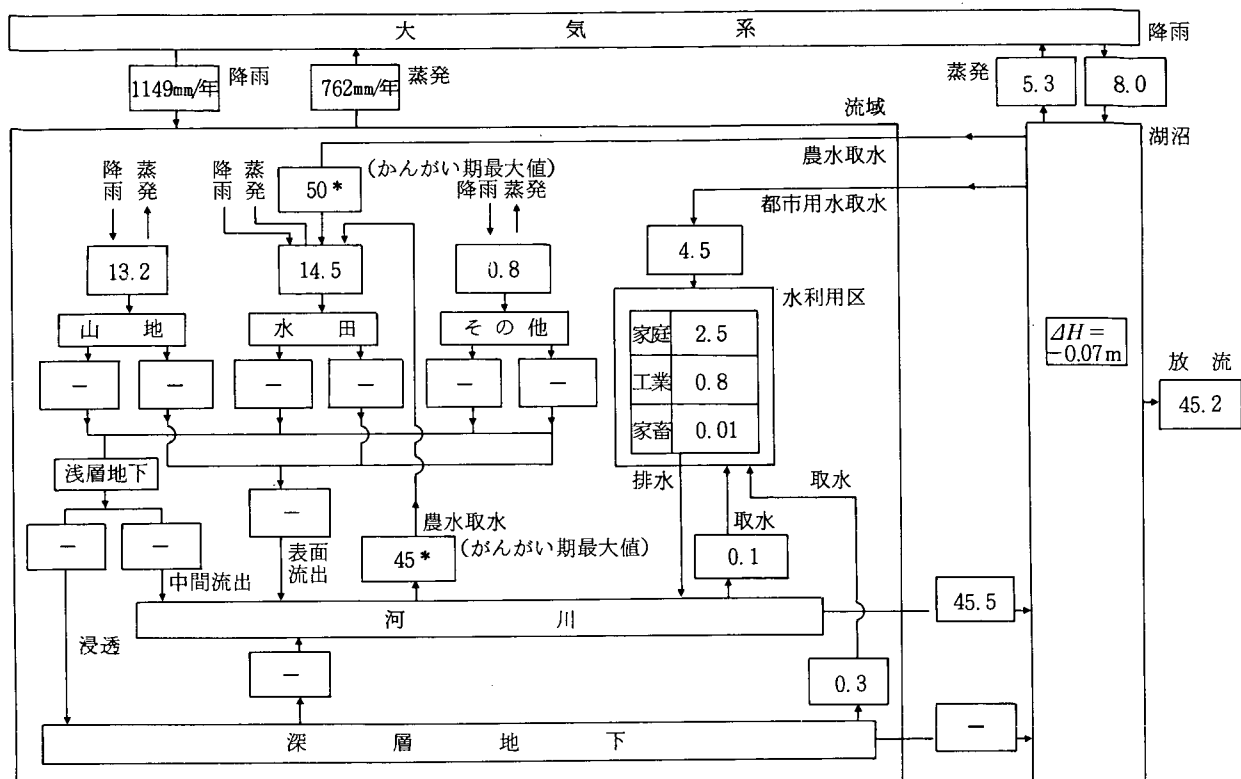


図-3.16 実績資料によるK湖流域水量収支 (S.52)(単位 m^3/s)

- ① 農業用水の取排水、還元機構が十分モデル化されていない。
- ② その水量が日々の実績データとして正確に把握されていない。

などが原因として考えられる。続いて昭和53年9月以降の湖水位が実績値よりも高く計算されている。この原因は現在のところ明らかではないが、昭和53年は渇水年で降水量が少なく8月下旬には湖水位も $EL. 0.7m$ 程度まで低下している。9月に入って降雨があり湖水位も徐々に回復していくことになるが、その回復の度合は計算値の方が流域からの流入量が大きいため早くなっている。このことから2ヶ月間の長きに亘って続いた無降雨のため土壌状態が変わり、流域からの流出メカニズムが変化したために9月以降の実測値と計算値の差が生じたのではないかと考えられる。このような乾燥状態になった土壌からの流出機構については、さらに詳細な調査検討が必要であろう。一方、地下水位はモデル計算結果から得られるものが地下タンク水位であるため、定量的なモデルの妥当性について検討することはできない。しかしながら、同定計算結果の図に示す観測地下水位と深層地下タンク水位を比較すれば、年間の経時変化傾向は定性的に良く合致しており、地下における水循環機構も概ね良好にモデル化されているものと思われる。

上記の計算結果を、全流域における年間水量収支で表わした流域水循環に関する概念図が図-3.15であるが、これらより図-3.16のように実測を行うことが困難な流域内での水循環過程(特に土地利用別の流出過程、地下への浸透や地下からの流出過程)を把握することがモデル計算により可能となる。K湖流域では山地、水田面積の全流域に占める割合が大きいため、これらからの表面流出量、地下浸透量は大きくなっている。また、地下水の湖沼への直接流出量はモデル計算によれば流域からの流出量の約

8%程度となっており、*K* 湖では地下水の挙動が湖沼の水量、水質に少なからず影響を与えている可能性がある。従って、このようなモデル計算結果の妥当性についてさらに詳細に検討するためには、地下水や農水取排水量に焦点をあてた観測体制の充実を図る必要がある。

一方、2ヶ年の経年変化をモデル計算結果の図-3.15 より見てみる。

各年の年間降水量は昭和 52 年 1,150mm, 昭和 53 年 836mm であり、年間蒸発量は昭和 52 年 762mm, 昭和 53 年 845mm となっている。すなわち、昭和 52 年は平水年であり、昭和 53 年は渇水年であった。この結果、昭和 53 年の渇水年には河川からの流入量は前年の 70%程度にまで減少し、*K* 湖からの放流量は半分以下になっている。また、昭和 53 年の渇水年には、少雨のため農地のかんがい用水として、*K* 湖や河川から例年に比して多量の取水を行っている。都市用水取排水量については、流況の違いによる大きな変動はないが、昭和 53 年は節水のため取水量が若干少なくなっている。

以上のモデル計算結果を概観することにより、流域内の水循環機構やその経年的な変化に興味深い特性が浮き彫りにされてくる。

2) 水質計算結果

水質再現計算では各流域ブロック毎に *COD*, *TP*, *TN* の流入河川水質を算出している。図-3.17～3.18 は昭和 52 年～53 年の負荷量モデルの同定計算結果を各水質項目毎の経時変化図として示したものである。尚、前述のように昭和 52 年の同定計算にあたっては流域を 7 ブロックに分割し、昭和 53 年の計算には 5 ブロックに分割して行っている。また、ここで示す実測値は、各流域ブロックで流入河川の水質と流量の観測値から求めた加重平均値である。本図より、各水質とも概ね年間の変化傾向は再現しているものの、時間スケールの小さい変動に対して計算結果は十分追従できていない。すなわち、本モデルでは日々の負荷変動を厳密に再現するのは困難であると思われる。特に昭和 53 年の再現性は良好でない。これはモデル構成そのものの問題というよりはむしろ渇水年における特殊な状況がモデル化されない現象となっているためと考えられる。従って、無降雨日が継続した場合の水量、負荷量の流出過程の検討がやはり重要であろう。

ところで、図-3.17 (3) に示す *TN* の再現計算結果において、流域 3 の年後半の再現性が良好でない。ここで用いた「実測値」は、前述のように図-3.19 で示す代表 8 河川の水質調査結果をこれらが位置する各流域において流量加重平均したものであり、流域 3 の実測値は *F* 川の調査結果である。図-3.19 によれば、*F* 川における昭和 52 年から昭和 53 年にかけての冬期の *TN* の上昇は主として NH_4-N (アンモニア性窒素), NO_3-N (硝酸性窒素) の上昇によるものであり、このような傾向は *A* 川 (流域 1), *C* 川 (流域 2) でも見られた。図-3.17 (3) で流域 1 や流域 2 の実測値が年後半に流域 3 ほど顕著に増加傾向にないのは、これらの流域では他の流入河川との流量加重平均を行っているためである。この *A* 川, *C* 川, *F* 川に共通しているのは、いずれも流域にし尿処理場があることである。*K* 湖流域に存在する 4 処理場の処理水は全てこれらの河川に放流されている。

し尿処理は NH_4-N 硝化と NO_2-N , NO_3-N の脱窒過程を経るが、硝化細菌、脱窒細菌ともに適温は 25～35℃とされ温度依存性が高く^{14),15)}、水温が低いと反応はかなり遅くなる。*A* 川, *C* 川, *F* 川では水温の低くなる冬期に NH_4-N , NO_3-N の濃度が高くなることから、このし尿処理水が河川水質に影響を与

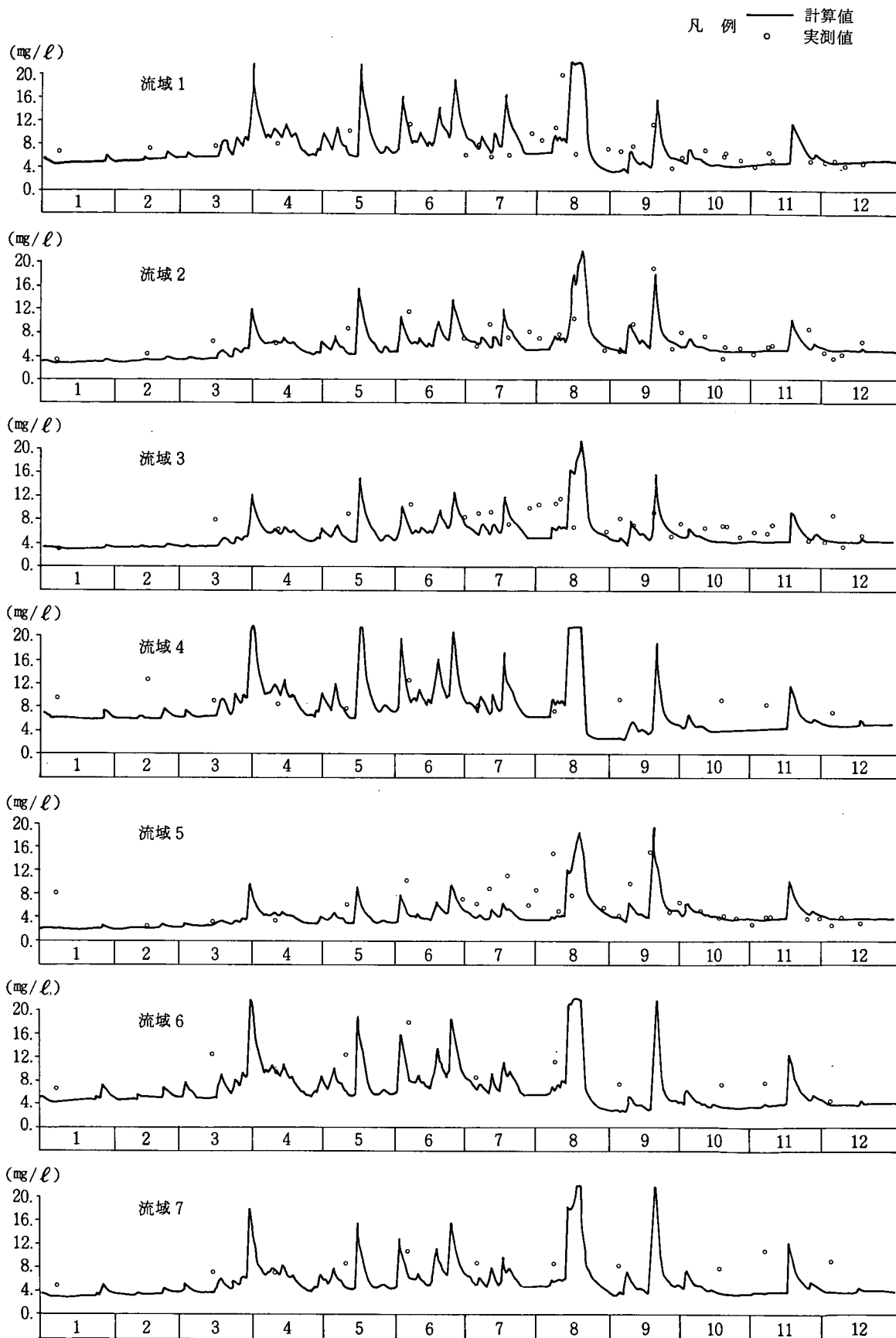


図-3.17(1) K湖流域流入河川水質(COD)再現計算結果(昭和52年)

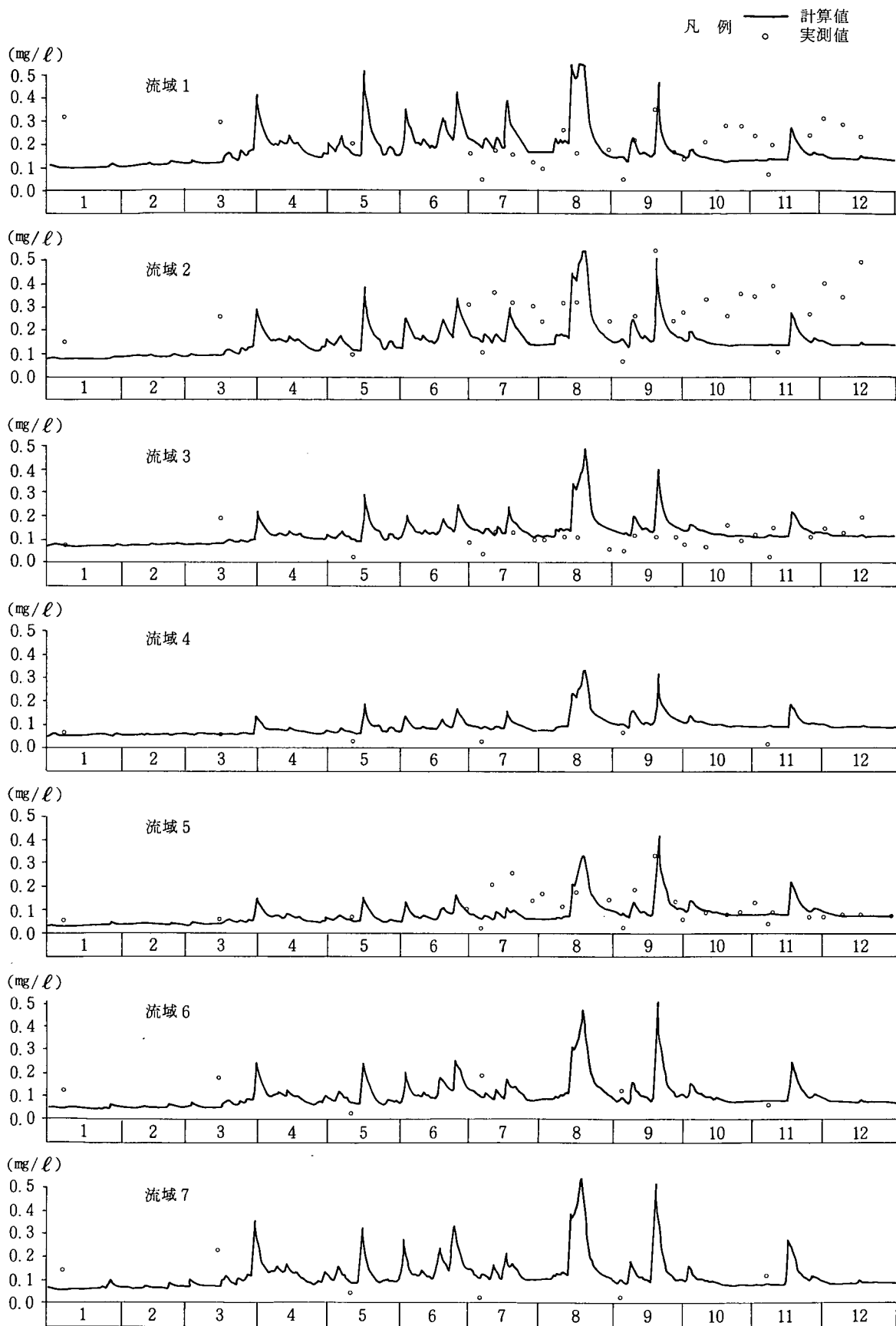


図-3.17(2) K湖流域流入河川水質 (TP) 再現計算結果 (昭和52年)

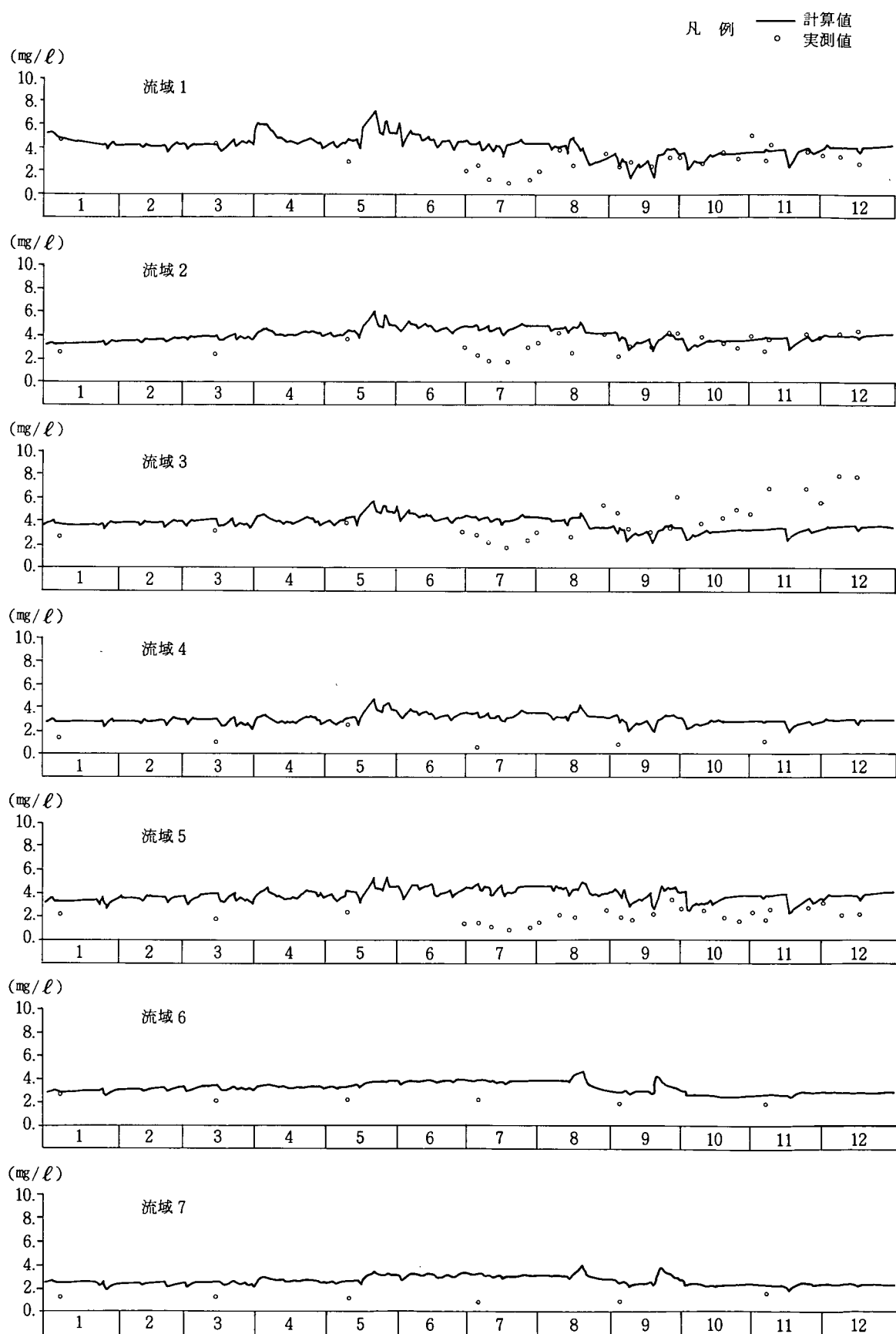


図- 3.17(3) K 湖流域流入河川水質 (TN) 再現計算結果 (昭和52年)

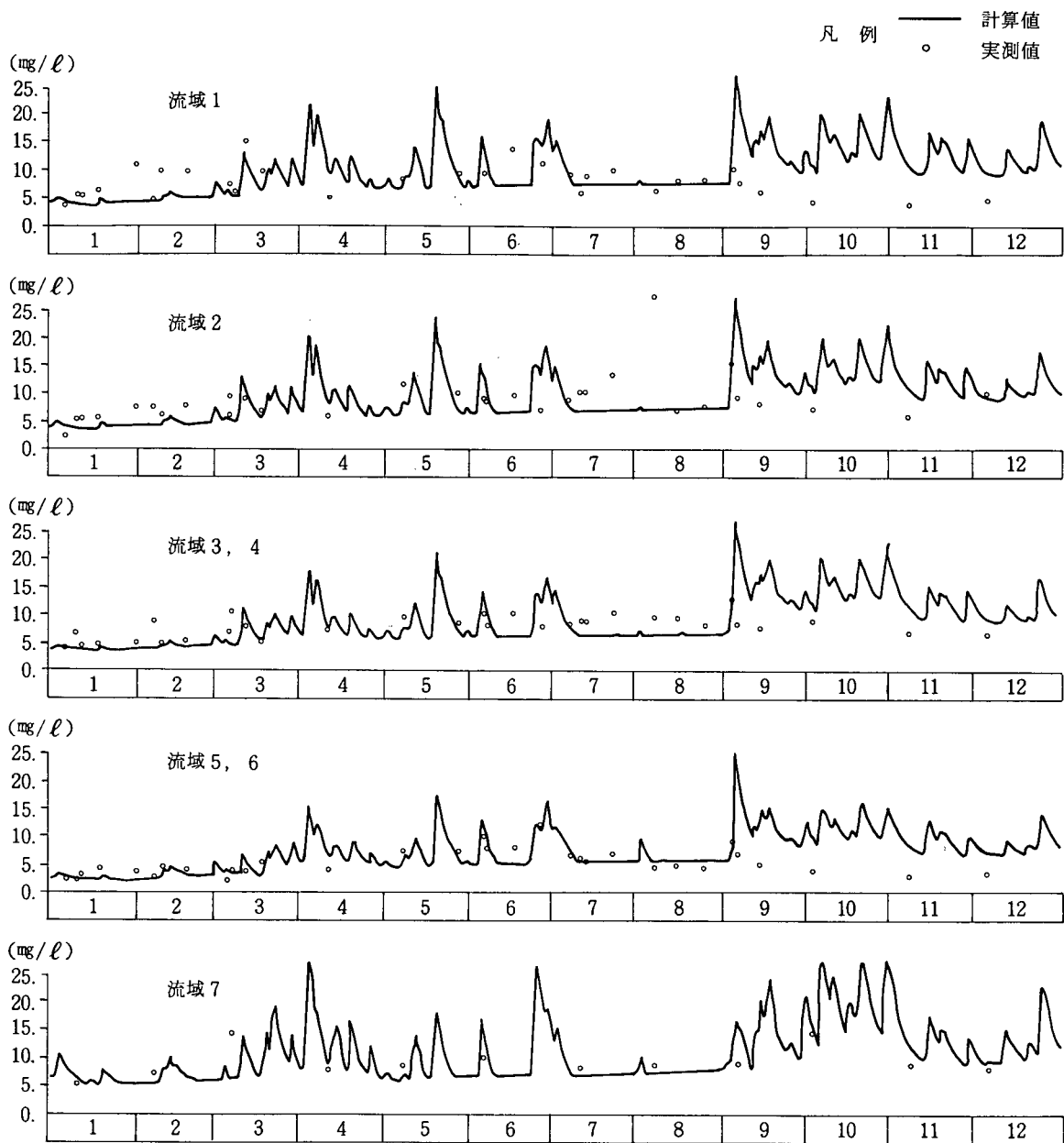


図-3.18(1) K 湖流域流入河川水質 (COD) 再現計算結果 (昭和53年)

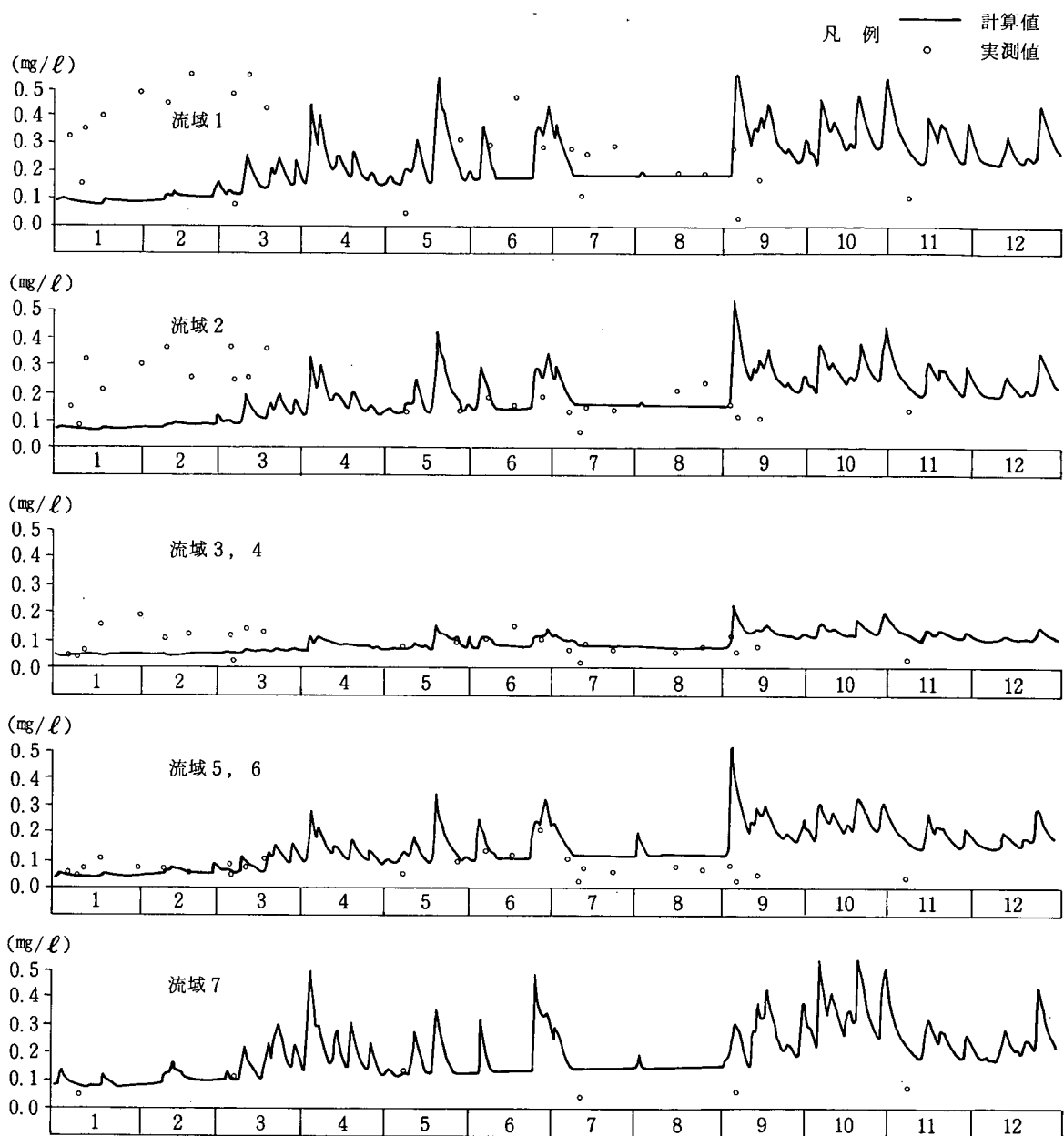


図- 3.18(2) K 湖流域流入河川水質 (TP) 再現計算結果 (昭和53年)

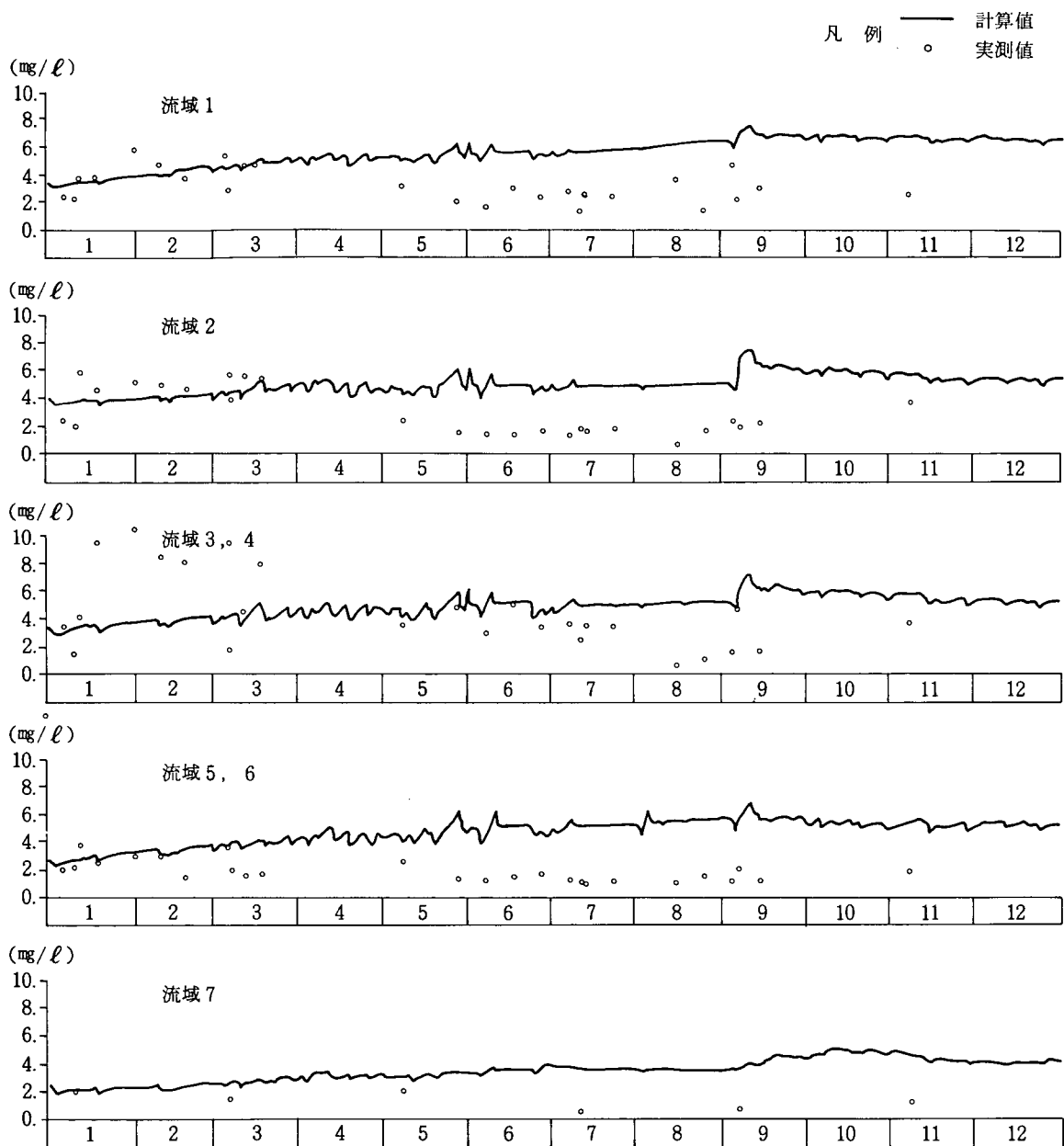


図-3.18(3) K湖流域流入河川水質(TN)再現計算結果(昭和53年)

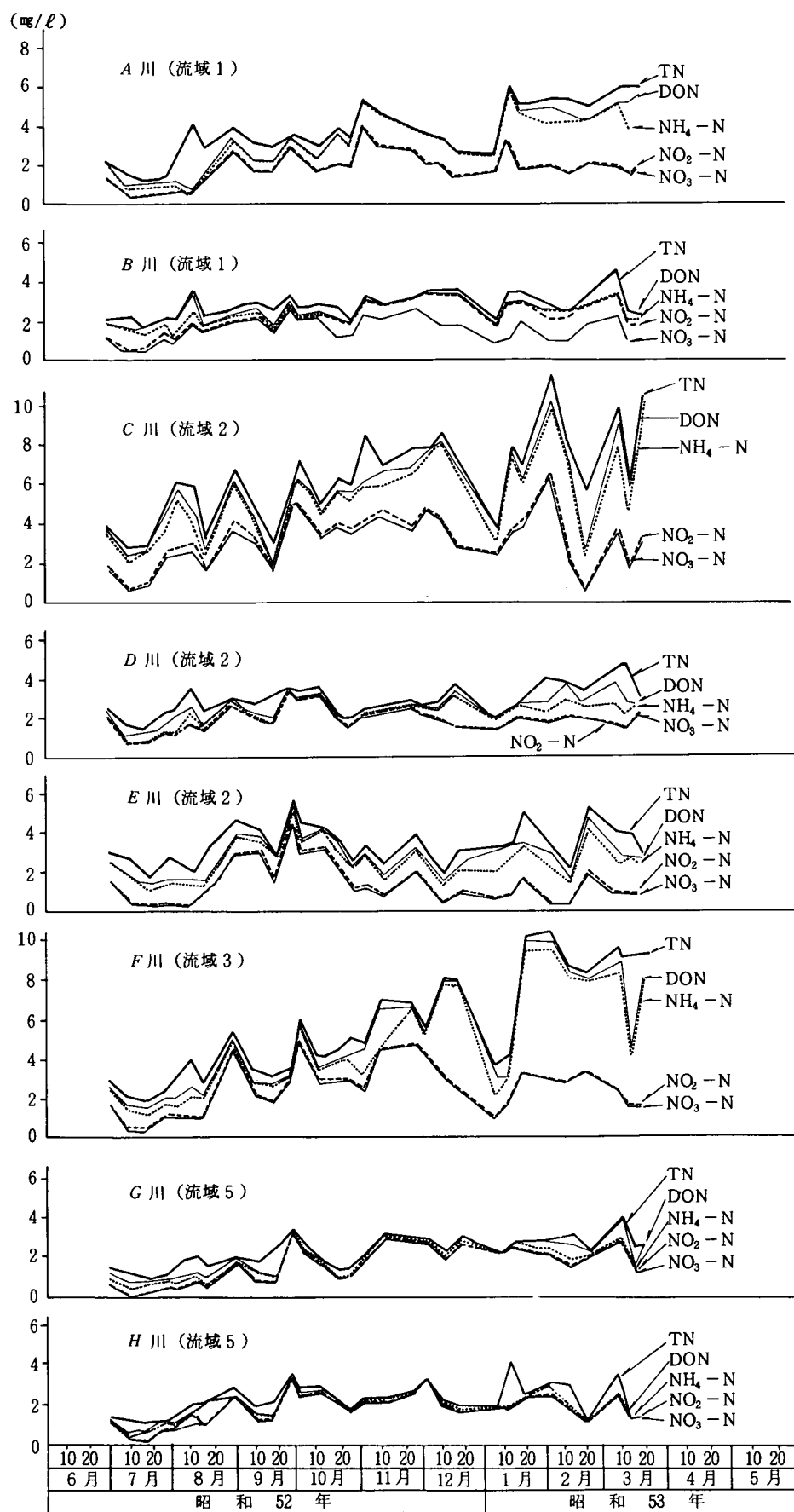


図-3.19 代表8河川における水質調査結果(案素)

えているものと考えられる。特に流域3はF川のウェイトが大きいので、その影響が直接的に流域3の流出水質の実測値に表われている。処理場のない流域4～流域7では上記のようなTN実測値の上昇は見られない。

以上より、流域1～流域3における冬期のTNの再現性向上には、処理場からの排水水質を実測値を参考にした季別パターンで入力することによって可能になるものと考えられる。

次に、図-3.18(2)の昭和53年のTP再現計算結果において、流域1,2の1月～3月にかけてTP実測値がかなり高い値を示している。これは昭和52年の10月頃から継続しているもので、この時に限って見られる現象である。同じ冬期であっても後述の検証計算で示すように昭和58年においてはこのような現象は顕著でない。この原因について、現段階では明らかでないが、流域1,2でこの時期にTPが高くなる何らかの要因があったものと推定される。これについては今後さらに原因を検討する必要がある。

一方、図-3.20～3.21は、図-3.15～3.16で示した流域の年間水量収支と同様に、計算結果と実測にもとづく流域内負荷量収支を求めたものである。

図-3.20(1)と図-3.21の昭和52年の流域負荷循環の計算結果と実測によるものとを比較すれば、モデルの再現性について検討するとともに、実測資料からは解らない流域内での汚濁機構（負荷循環機構）がモデル計算を行うことにより定量的に明らかとなる。

これより、流域内の循環負荷量は計算値と実測値がほぼ同様の値であり、流域内の負荷循環機構のモデル化が妥当であるといえよう。また、K湖では水田・山地からの表面流出、水利利用区からの家庭雑排水や家畜排水による汚濁負荷のウェイトが高く、湖内での鯉の網生質養殖による負荷も湖沼汚濁のインパクト

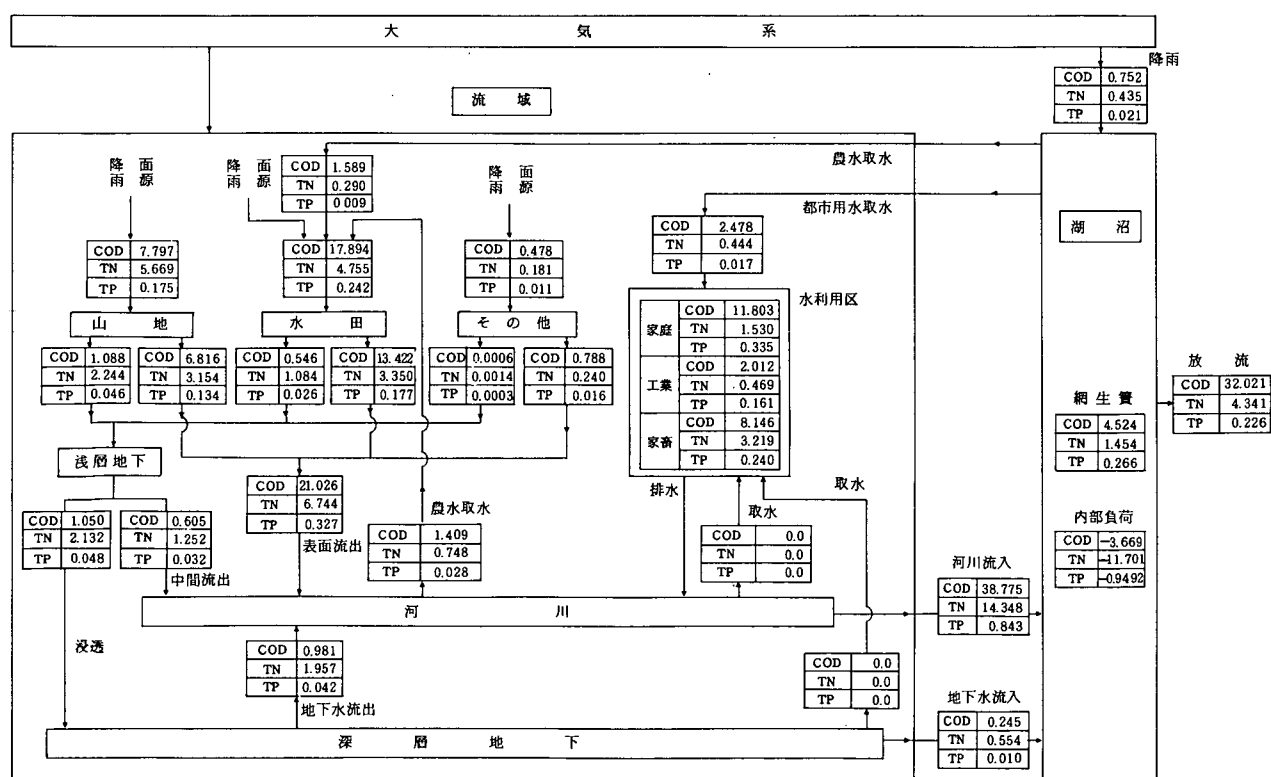


図-3.20(1) モデル計算によるK湖流域負荷量収支 (S-52)(単位: ton/日)

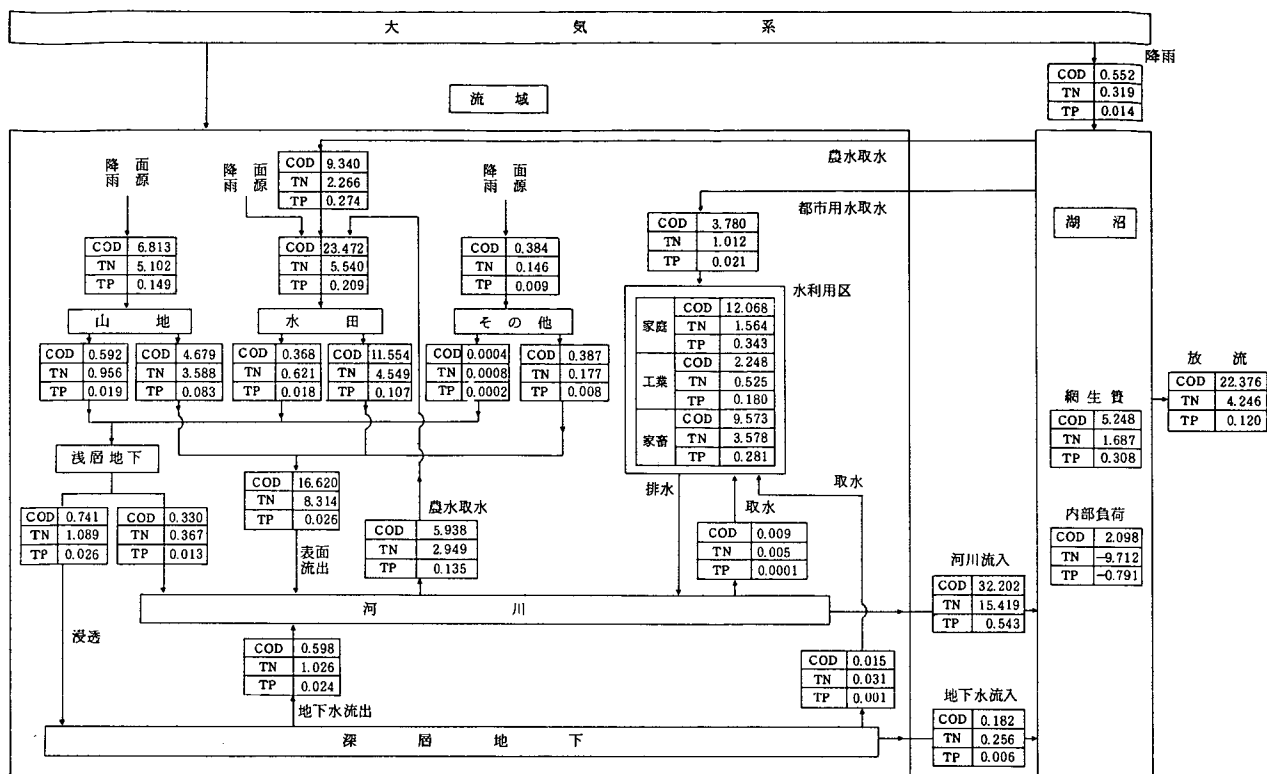


図 - 3.20(2) モデル計算によるK湖流域負荷量収支 (S-53)(単位; ton/日)

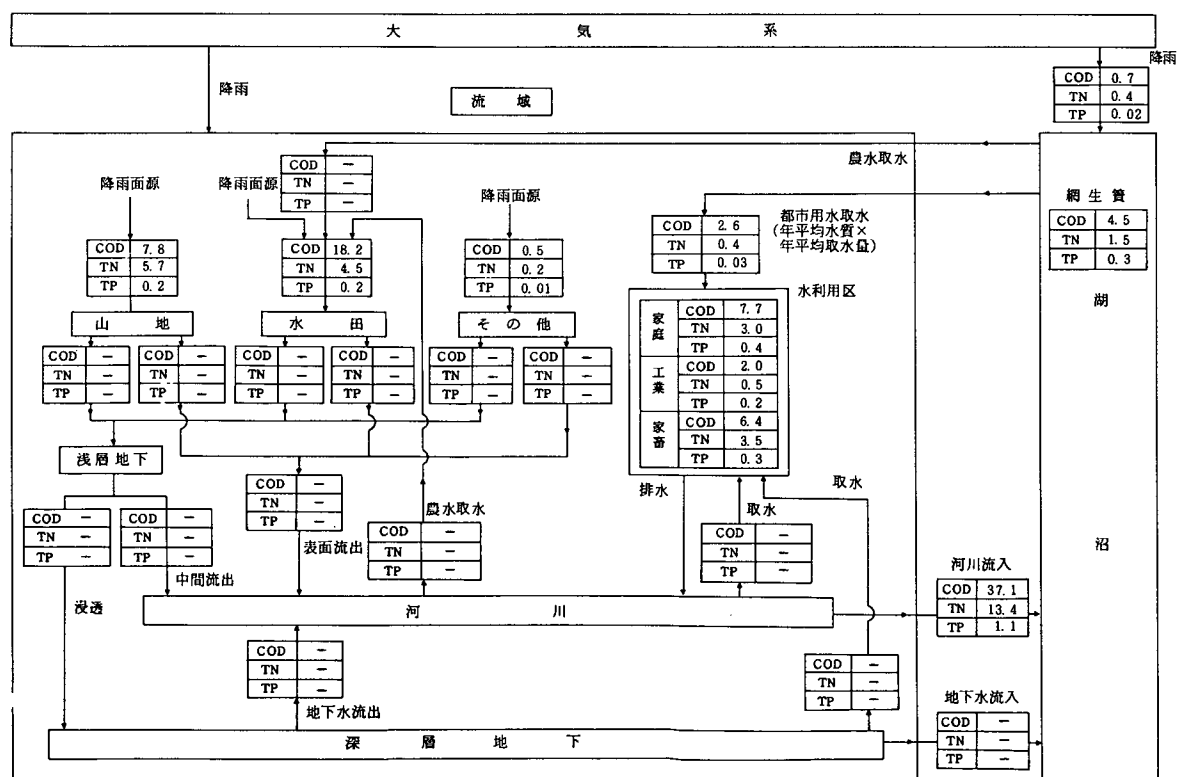


図 - 3.21 実績資料によるK湖流域負荷量収支 (S-52)(単位; ton/日)

として無視しえないものと思われる。従って、これらに対して適切な汚濁負荷削減対策を実施することが、*K* 湖の水質汚濁制御には非常に効果的であると思われる。一方、水量計算では地下への浸透や流出の水量は大きい、土壌による浄化機能のため流出負荷量としては流域全体から見れば大きなウェイトを占めるものではない。このような土壌の浄化機能を利用することは、湖沼の汚濁防止対策として有効な方法と考えられる。

次に、流域内の年間負荷量収支を経年的に眺めてみると、昭和 53 年は降水量、流入河川流量とも平年比 70% 程度の渇水年であったが、河川からの流入負荷量は *COD* で 83%、*TP* で 64% に減少しているものの、*TN* は逆に 107% と増加している。このことは *COD*、*TN* については平年に比べて高濃度のものが流入し、*TP* については低濃度のものが流入してきたことを意味しており、結果として湖内の水質濃度は *COD*、*TN* に関して増加している。この影響は当然のことながら取水水質にも及ぼすこととなり、都市用水取水量が節水により昭和 52 年に比べて若干減少したにもかかわらず、その取水負荷量は *COD* で 1.5 倍、*TN* で 2.3 倍、*TP* で 1.2 倍と非常に高くなっている。このため、浄水処理段階での水処理費用は例年よりも多くなったと思われる。

以上のように本モデルを用いた負荷量計算を行うことにより、流域内での負荷循環機構を物理的に説明することが可能であり、*K* 湖における汚濁要因の検討にも有用であることがわかる。

3.5.1.2 検証計算

前節の同定計算で設定した定数を用いて、本モデルの検証計算を実施した。検証計算期間は昭和 53 年から 5 年後の昭和 58 年 1 月 1 日から同年 12 月 31 日までの 1 年間とした。水域及び流域の分割は昭和 53 年同様 5 ブロック分割とし、その他の計算条件は同定計算と同様とした。

水量に関する検証計算結果は、図—3.22 に湖水位、湖沼流入量、水域毎の流入量、地下水位を、図—3.23 に年間水量収支の概略として示す。これらの図より、年間を通して湖水位、流入量、水域別流入量とも再現性は良好である。地下水位についても定性的な変化傾向は再現しており、設定されたモデル定数の妥当性を示すものである。昭和 58 年は年間降水量 1,195mm、蒸発量 876mm の概ね平水年であり、流入量、放流量とも昭和 52 年に比べて若干多くなっているが、流域水循環の全体的な傾向は昭和 53 年よりも昭和 52 年に似かよっている。都市用水取排水量は同定計算年と比較して微増傾向にあるが、これは都市用水が流域の開発や産業構造等のフレームの変化に影響されているためであろう。

一方、水質の検証計算結果は、図—3.24 に各水質項目毎の経時変化図を、図—3.25 に年間負荷収支を示す。この検証計算では、各水質項目とも良好な再現性を示している。特に *COD*、*TP* の流入水量に対応した水質変動、*TN* の流量に対応しないほぼコンスタントな水質状況等は良く再現されている。流域内の負荷循環形態は概ね昭和 52 年と同様であるが、循環水量が多くなっているため負荷量もそれに応じて大きくなっている。

以上、昭和 52 年、53 年の同定計算、昭和 58 年の検証計算結果をみると、概ね満足のいく再現性を示しているが、昭和 53 年には水量・水質項目共、他年に比べて再現精度は良くない。これは、前述のように渇水現象に対して、モデルの取り扱い、設定された定数等が適切でないためと考えられる。この点に関しては、今後さらに調査、研究を行っていく必要がある。

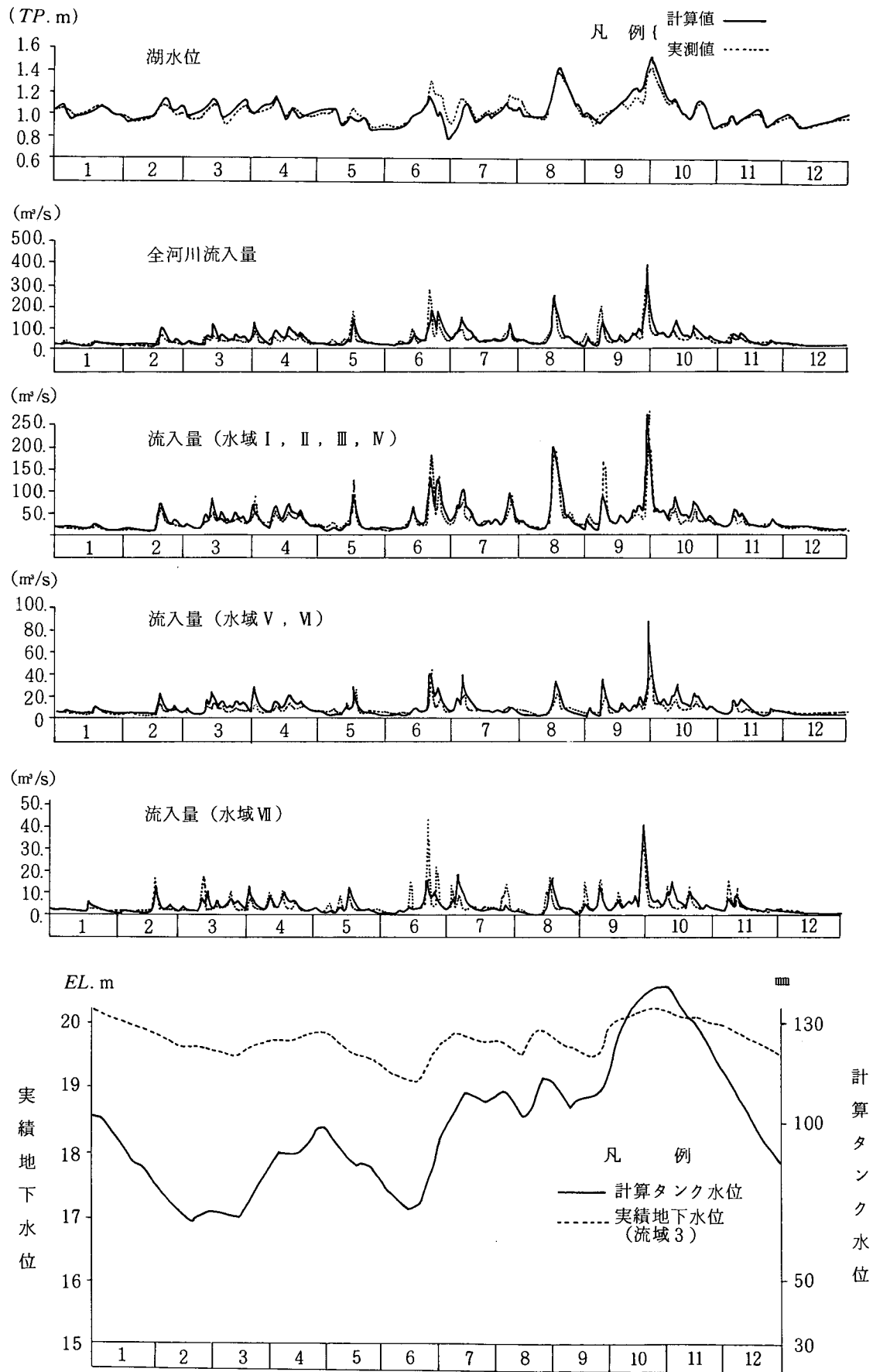
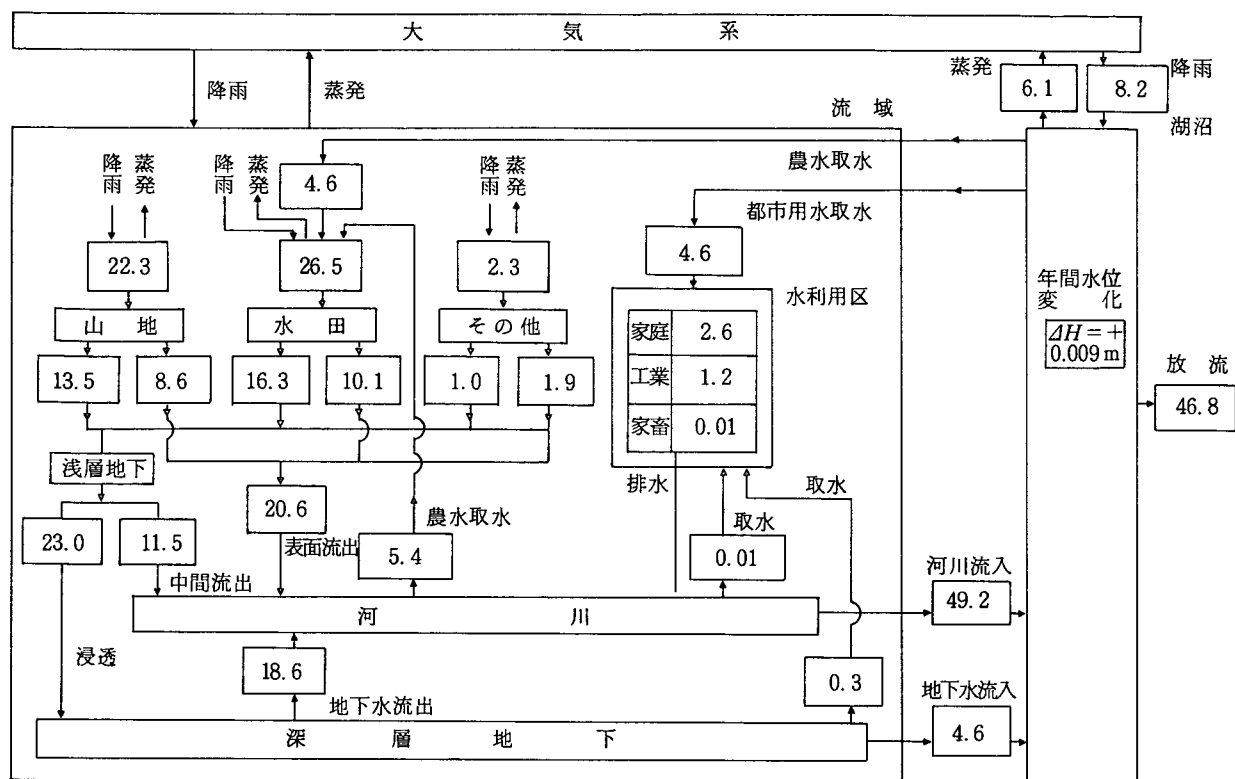
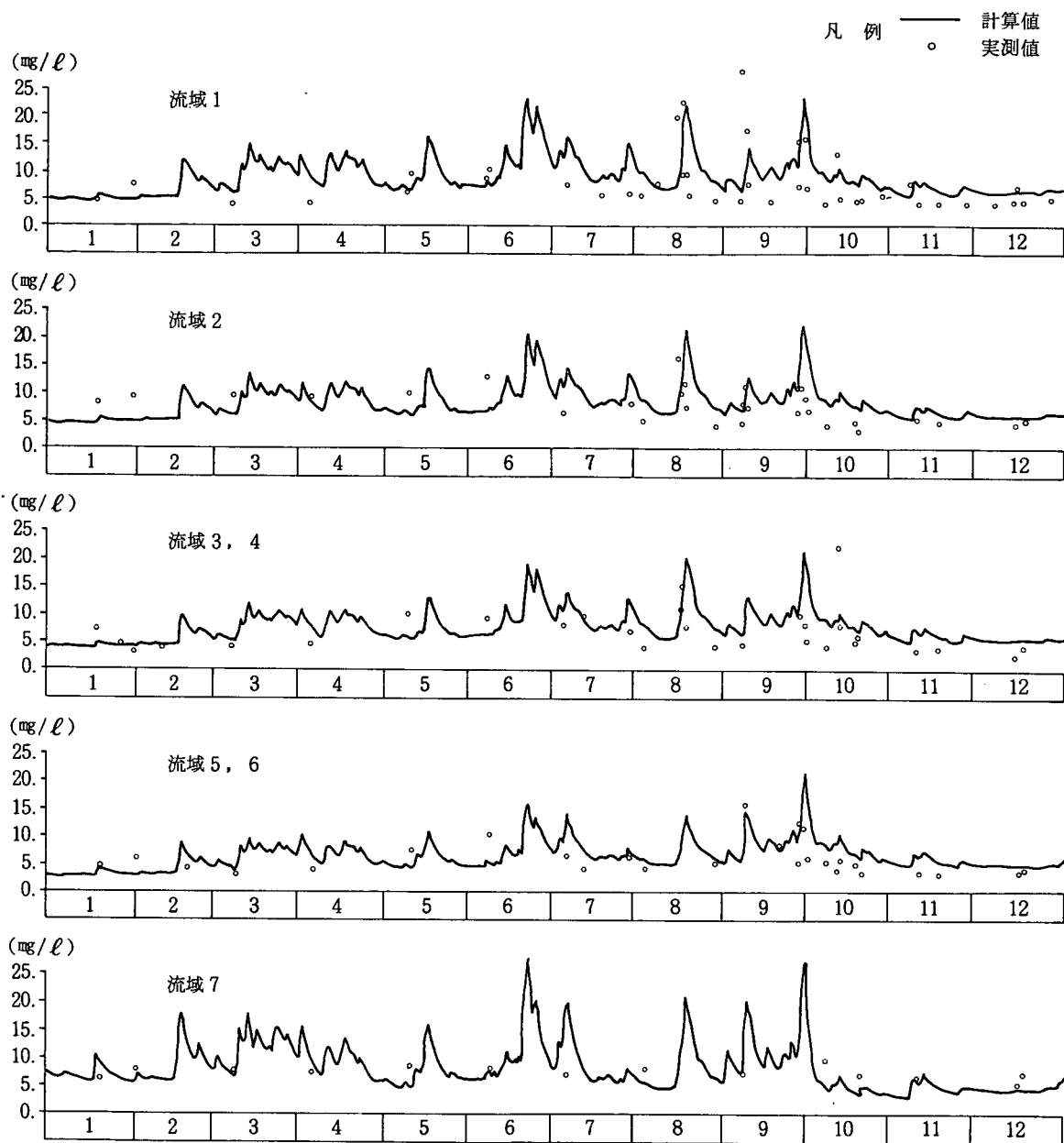


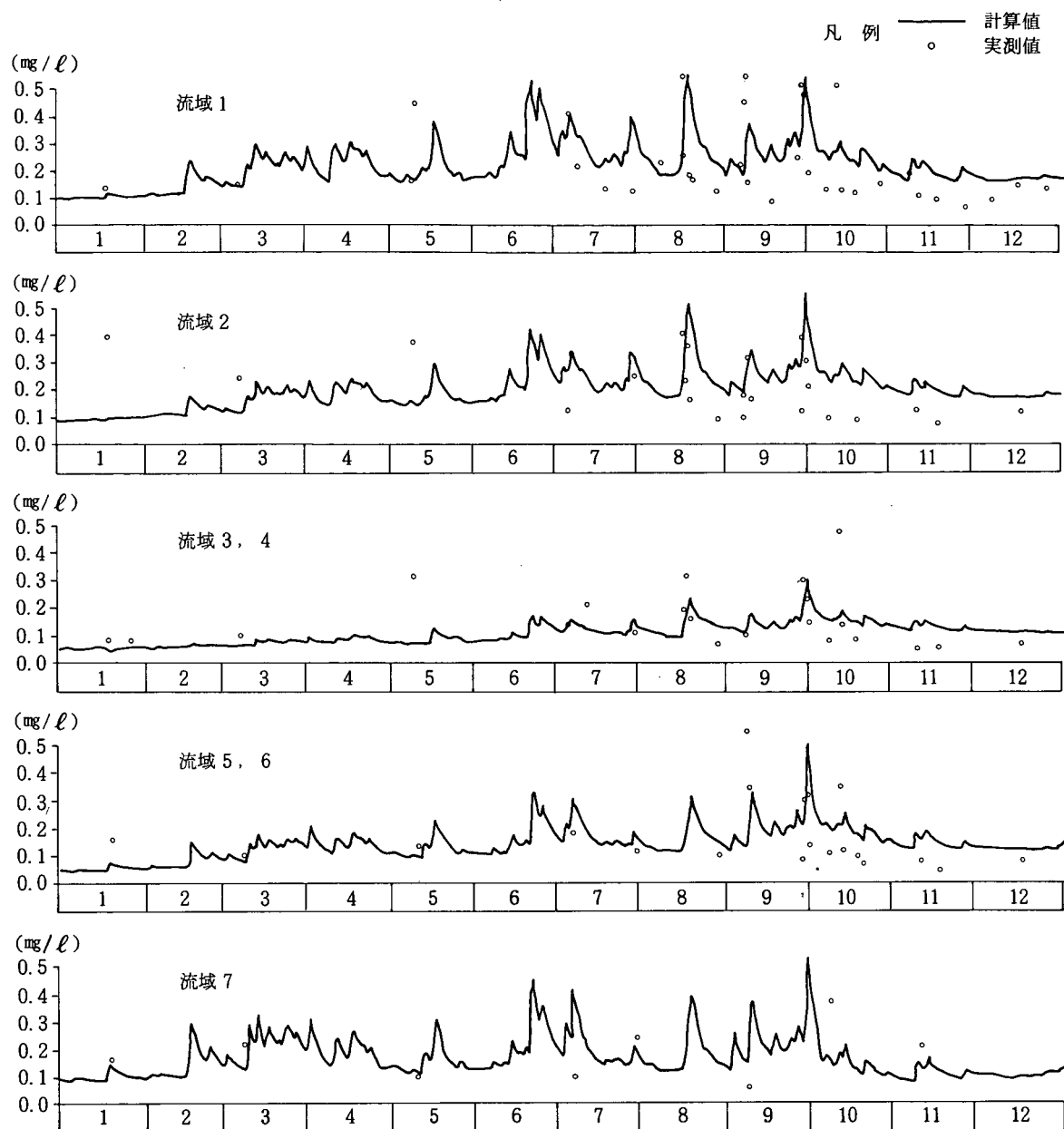
図-3.22 K湖湖水位，流入河川流量，地下水位検証計算結果（昭和58年）



図－3.23 検証計算によるK湖流域水量収支 (S.58) (単位 m^3/s)



図－ 3.24(1) K 湖流域流入河川水質 (COD) 検証計算結果 (昭和58年)



図一 3.24(2) K湖流域流入河川水質 (TP) 検証計算結果 (昭和58年)

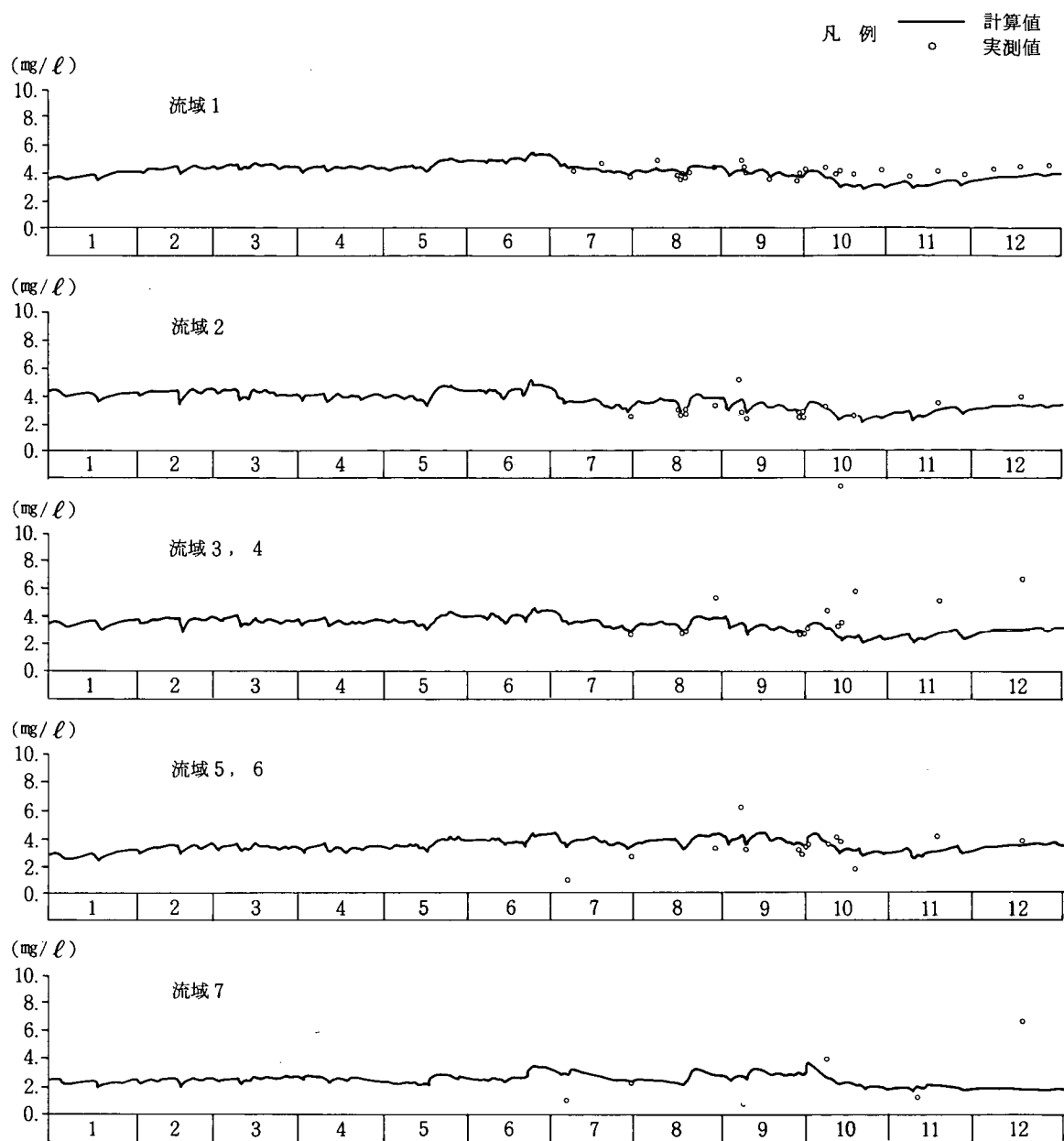
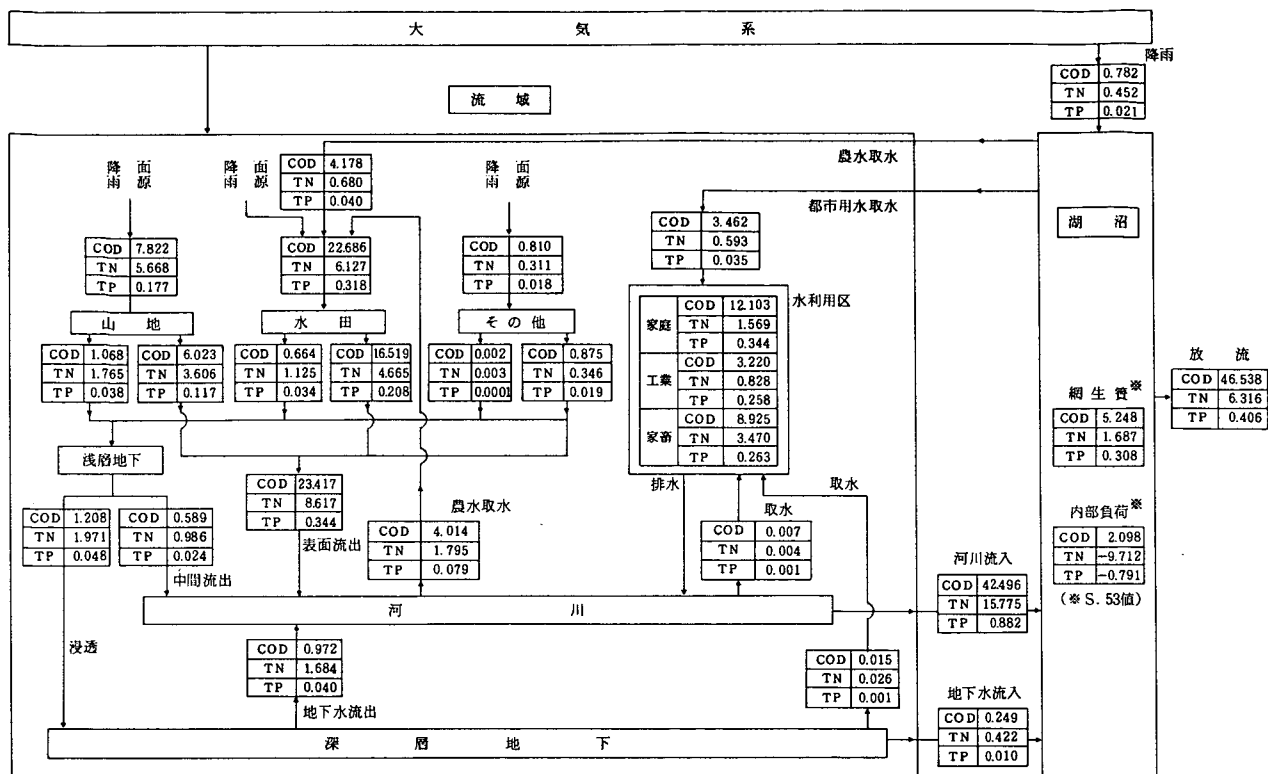


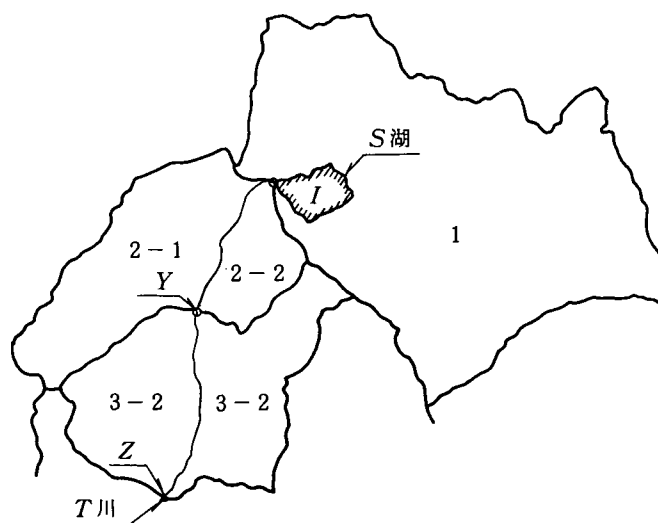
図-3.24(3) K湖流域流入河川水質(TN)検証計算結果(昭和58年)



図－3.25 検証計算によるK湖流域負荷量収支（S. 58）（単位；ton/日）

3.5.2 S湖流域への適用

S湖の概略を図－3.26に示すが、全国でも高標高の盆地の中央部に位置する湖である。また、有数の急峻な一級河川の水源ともなっている。流入河川は大小併せて26河川に及ぶが流出は水門を経てこの一級河川のみである。S湖流域はK湖に比べて山地面積の割合が多く、流域の約73%が山林で覆われた急峻な地形を呈している。流域には3市2町1村があり、流域内総人口は約16万人（昭和55年）となっている。湖周辺では精密機械工業、製糸業が盛んでこの地区の製造品出荷額は県全体の約1/3を占めている。従って、K湖同



図－3.26 S湖流域概略図

様生活雑排水や産業排水による汚濁負荷の流入が S 湖の富栄養化の大きな原因となっている。

S 湖の水質は、COD でみると昭和 30 年代までは 2~3ppm の水準であったが昭和 40 年代以降急激に悪化し、気象条件によっては 10 ppm を超える年も出現し環境基準 (A 類型 COD 3 ppm) をはるかに上回っている。

一方、S 湖から流出する T 川では、沿岸から流入する工場排水、生活雑排水は S 湖周辺ほどでないことや流入支川による希釈や自浄作用によって、下流に行くほど浄化されている。従って、S 湖の影響を直接受ける上流部は環境基準を超えているものの、下流部においては環境基準は達成されている。

3.5.2.1 モデルの同定

S 湖においては、K 湖ほど水量・水質に関する資料は存在していないが、昭和 55 年には流域下水道事業計画の変更に関しての資料が出されており、他の年に比較して特に水質、負荷量関係の資料が整っている。そこで、S 湖については昭和 55 年のみをモデルの同定計算の対象年とし、検証計算は行っていない。

(1) 計算期間及び計算時間間隔

モデル定数同定の計算対象年としては、上述のように昭和 55 年 1 月 1 日~12 月 31 日までの 1 年間とした。計算及び出力の時間間隔は K 湖同様 1 日とした。

(2) 水域及び流域の分割

水域及び流域の分割は図-3.26 に示すように行った。すなわち、S 湖は湖面積が小さく、地形、水理、水質の条件があまり大きく変わらないことから水域、流域の分割は行わなかった。一方、S 湖から下流域については、流量及び水質の観測を行っている地点を勘案して、2 流域に分割した。

(3) 入力諸データ

入力データについては K 湖と同様な方法により作成、設定した。図-3.27 に S 湖の実測水理・水文データを示す。

(4) モデル定数の設定

水収支タンクモデル及び負荷タンクモデルの定数は、K 湖で用いた定数、既往検討事例^{(5), (6), (7)} や文献^{(12), (13)}等を参考に設定した。S 湖で用いたモデル定数を表-3.7~3.8 に示す。

(5) 再現項目

再現計算は、まず水収支についての再現性の検討を行い、その結果を用いて水質の再現計算を行った。再現項目は S 湖での湖水位、地下水位、流入量と下流河川流量そして湖水質 (COD, TP, TN) と下流河川水質 (COD, TP, TN) とした。

(6) 同定計算結果

モデルの同定計算結果 (昭和 55 年) について以下に考察する。

1) 水量計算結果

図-3.28 にも見られるように、S 湖への流入量および下流河川流量は概ね良好に再現されている。特に湖流入量及び下流 Y 地点流量については、平常時低水流量や農水取水量を考慮したかんがい期流量は精度良く再現されている。しかしながら、最下流の Z 地点流量は全般に実測値よりも小さく計算された。これに対しては、洪水時の流域降水量の検討を進める一方で、低水流量に主眼を置いたタンク定数

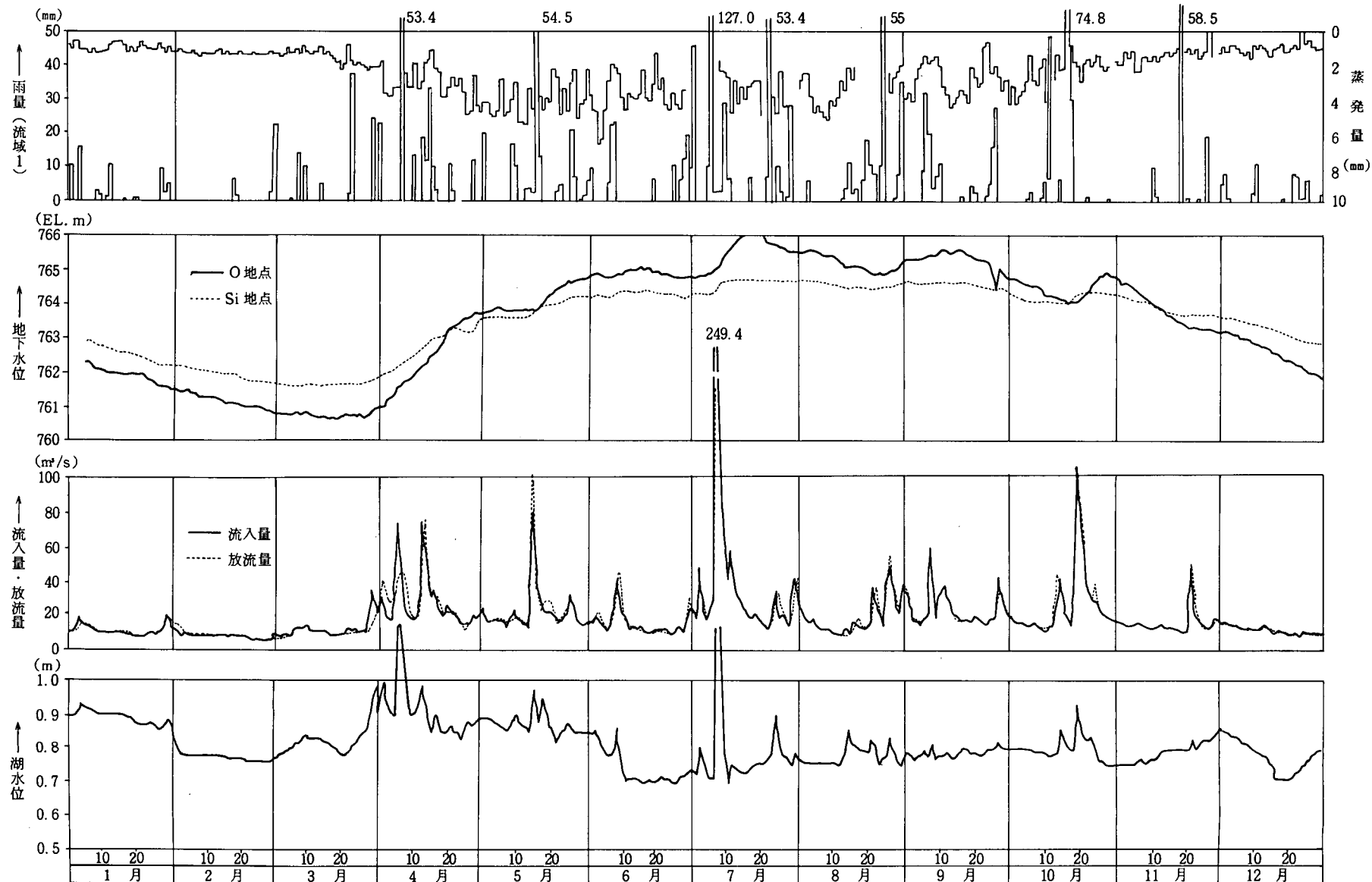


図- 3.27 S湖水理・水文実測データ (昭和55年)

表-3.7 水収支タンクモデル定数

タンク		山地タンク		農地タンク		その他のタンク	
流出孔係数		高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)
流出孔	1	100.0	0.20	100.0	0.50	80.0	0.70
	2	50.0	0.10	10.0	0.10	10.0	0.20
	3	0.0	0.20	0.0	0.10	0.0	0.10
	4	0.0	0.30	0.0	0.10	0.0	0.10
初期値		1.0	—	1.0	—	1.0	—
タンク		浅層地下タンク		深層地下タンク		河川タンク	
流出孔係数		高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)	高さ (h) (mm)	係数 (a)
流出孔	1	50.0	0.50	1,000.0	0.05	0.0	0.99
	2	0.0	0.01	0.0	0.015	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.0	0.10	0.0	0.0	0.0	0.0
初期値		10.0	—	100.0	—	初期流量	—

表-3.8 負荷タンクモデル定数

モデル定数		水質項目	COD	TN	TP
※1 表層, 河川タンク 流出定数 $L = a \cdot S^b \cdot Q^d \cdot (Q - Q_c)$		b	2.0	2.0	0.5
		d	0.2	0.2	0.3
	※2	Q_c	0.0	0.0	0.0
		S_o	※3 晴天時日蓄積負荷量の40日分 (前降雨までの日数分)		
地下浸透定数		m	0.03	0.06	0.001
		n	2.0	2.0	2.0

※1 全流域共通

※2 定数同定簡略化のため0.とした。

※3 $[\text{晴天時日蓄積負荷量}] = [\text{流域日排出負荷量}] - [\text{晴天時日流出負荷量}]$

を検討することで再現精度の向上がはかれるものと考えられる。

湖水位の再現結果は、湖への流入量が概ね再現されているにもかかわらず、かなり精度が悪い。この理由としては、湖水位や湖からの放流量は精度良く測定されていることから、湖への流入量が適切に把握されていない、すなわち実測値に誤差があることが考えられる。一方では、河川流入量と地下水流入量がうまく計算されていないということ、また流域の大きさに比較して湖面積、湖容積がかなり小さいために流量の再現誤差が拡大されて表われるためではないかとも考えられる。従って、再現性向上のためには、各タンクモデル定数の見直し、流域降雨特性や地下水流出特性等の詳細な検討を行う必要がある。

地下水位についても計算結果と実測値を比較してみた。K湖における適用計算でも述べたように、モデル計算結果から得られるものが地下タンク水位であるため、定量的なモデルの妥当性について検討することはできない。しかしながら、図-3.29に示すように観測地下水位と深層地下タンク水位を比較す

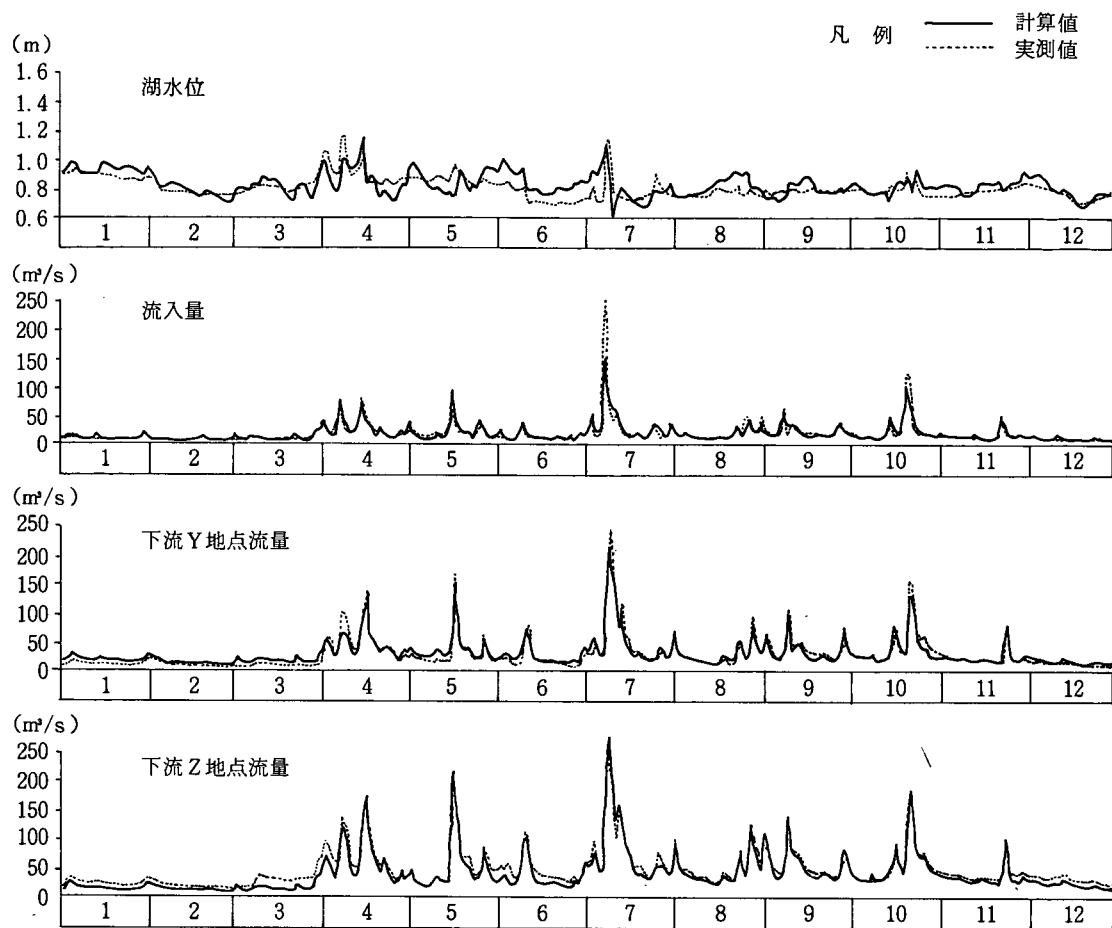


図-3.28 S湖湖水位，流入量，下流河川流量再現計算結果（昭和55年）

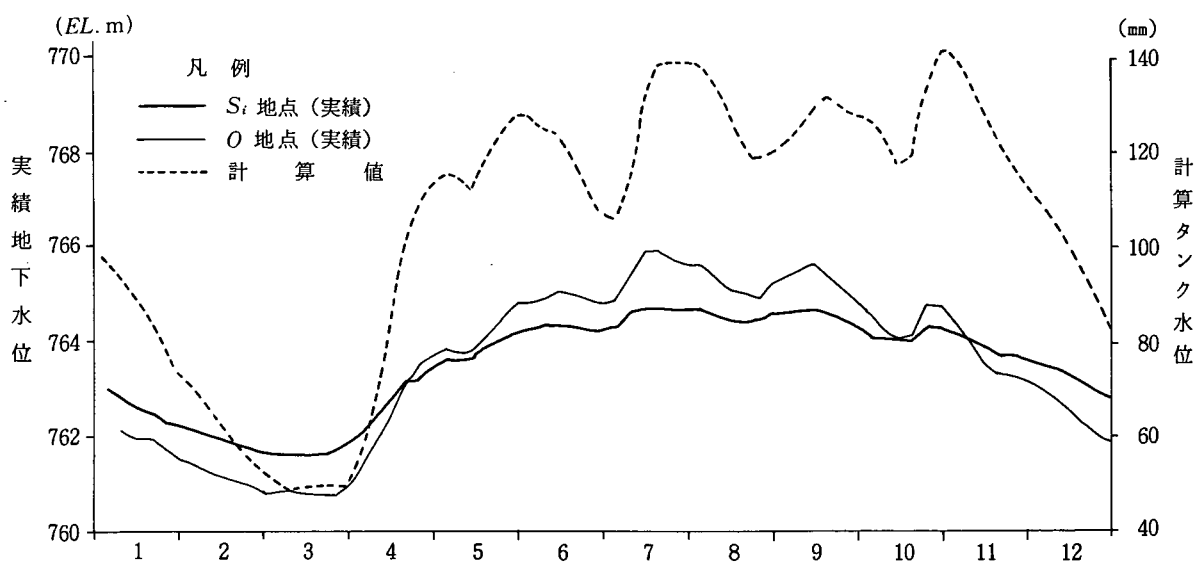


図-3.29 地下水位比較図

れば、年間の定性的な変化傾向の妥当性について検討することは可能である。S 湖流域では 2ヶ所で地下水位を観測している。モデルにより計算された地下タンク水位の年間変化は、この 2ヶ所での観測地下水位の変化と合致しており、地下タンクのモデル化は概ね適切であると思われる。

以上の同定計算結果より、昭和 55 年の S 湖及びその流域の水循環について整理した結果を表-3.9、図-3.30 に示す。S 湖の水循環の特徴は流域蒸発量が小さいこと、そして K 湖に比べて水循環における地下水の役割がさらに大きいことが挙げられる。すなわち、地下水取水と河川への地下水流出は共に流域水循環の大きなウェイトを占めている。また、上述したように、湖面積、湖容積は K 湖と比較して、それぞれ約 1/16、1/13 であるにもかかわらず、年間流入量は 1/2 程度であるため K 湖よりは水の入れ替わりが大きいのも特徴的である。

2) 水質再現計算

S 湖流入河川水質、湖内水質、下流河川水質の再現計算結果を図-3.31~3.34 に示す。流入河川水質

表-3.9 湖 沼 , 流 域 の 水 循 環

	項 目	計 算 値
湖 沼	湖 水 位	0.836 m (年 平 均)
	湖 容 量	5,957 万 m ³ (年 平 均)
	河川流入量	20,177 m ³ / s
	湖内取水量 (都市用水)	0 m ³ / s
	湖内取水量 (農 水)	0.099 m ³ / s (年 平 均)
	湖面降雨量	1,037 mm / 年 (0.437 m ³ / s)
	湖面蒸発量	590 mm / 年 (0.249 m ³ / s)
	湖全流入量	20,268 m ³ / s
	湖 流 出 量	20,319 m ³ / s (実 績 値)
流 域 1	流域降雨量	1,363 mm / 年 (22,384 m ³ / s)
	流域流出率	0.901
	農水取水量 (河川+湖沼)	0.099 m ³ / s (年 平 均)
	水田降水量	1,363 mm / 年 (1,627 m ³ / s)
	水田蒸発量	184 mm / 年 (0,220 m ³ / s)
	農水還元量 (表面流出)	0.928 m ³ / s
	農水還元率	61.6 %
流 域 2	流域降雨量	1,945 mm / 年 (12,308 m ³ / s)
	流域流出率	0.555
	農水取水量 (河川+湖沼)	0 m ³ / s (年 平 均)
	水田降水量	1,945 mm / 年 (0.509 m ³ / s)
	水田蒸発量	450 mm / 年 (0.118 m ³ / s)
	農水還元量 (表面流出)	0.249 m ³ / s
	農水還元率	63.7 %
流 域 3	流域降雨量	1,833 mm / 年 (13,815 m ³ / s)
	流域流出率	0.989
	農水取水量 (河川+湖沼)	0 m ³ / s (年 平 均)
	水田降水量	1,833 mm / 年 (1,847 m ³ / s)
	水田蒸発量	0 mm / 年 (0 m ³ / s)
	農水還元量 (表面流出)	1,132 m ³ / s
	農水還元率	61.3 %

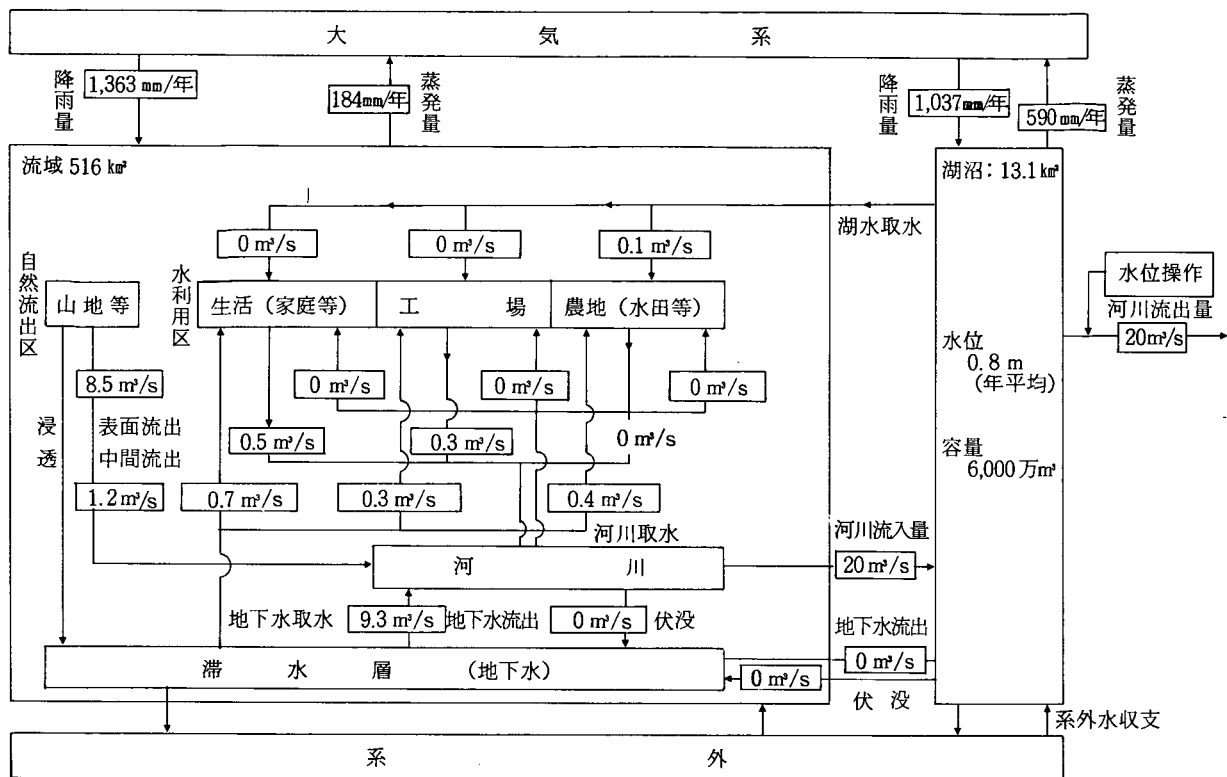


図- 3.30(1) モデル計算による S 湖流域水量収支図 (昭和55年)

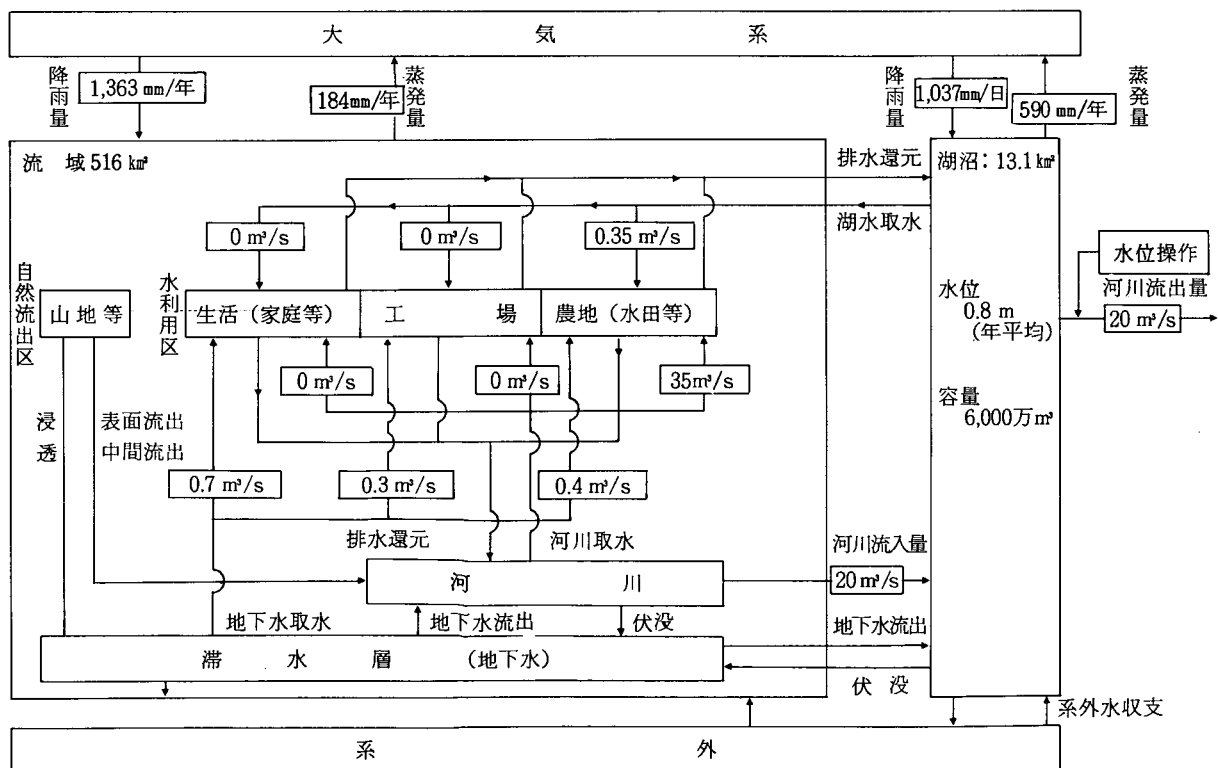


図- 3.30(2) 実績資料による S 湖流域水量収支図 (昭和55年)

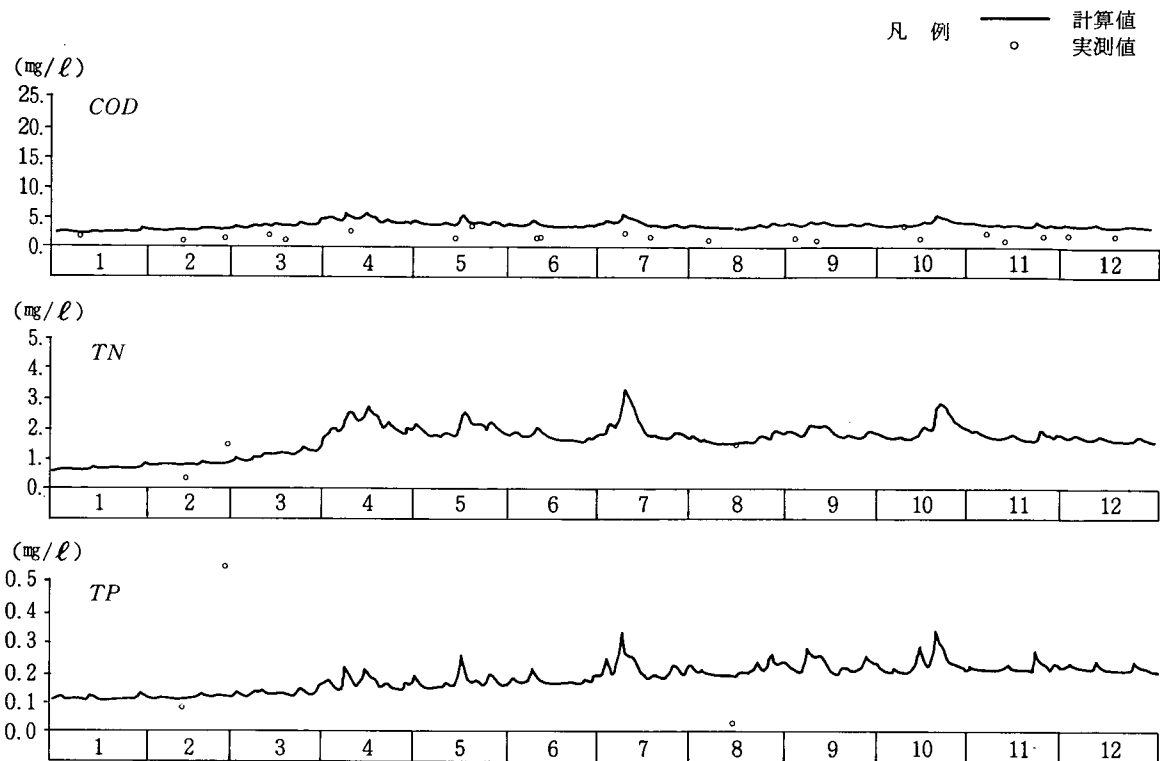


図-3.31 S湖流入河川水質再現計算結果(昭和55年)

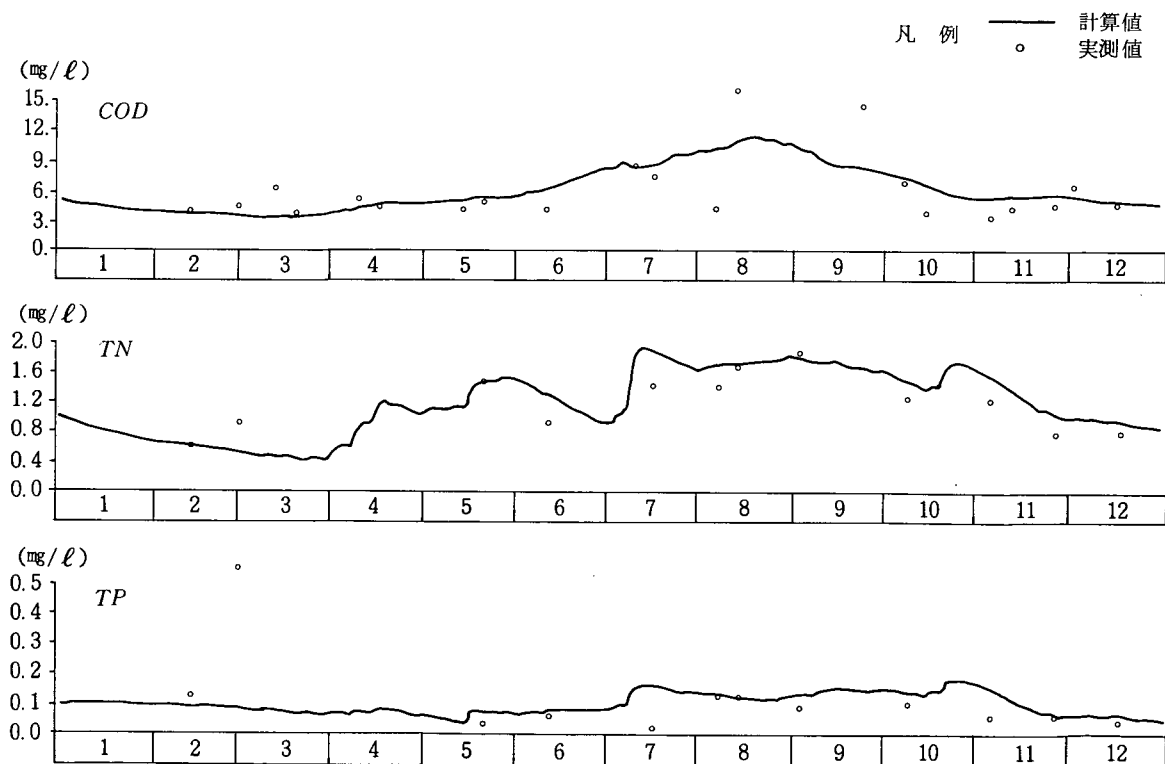


図-3.32 S湖湖内水質再現計算結果(昭和55年)

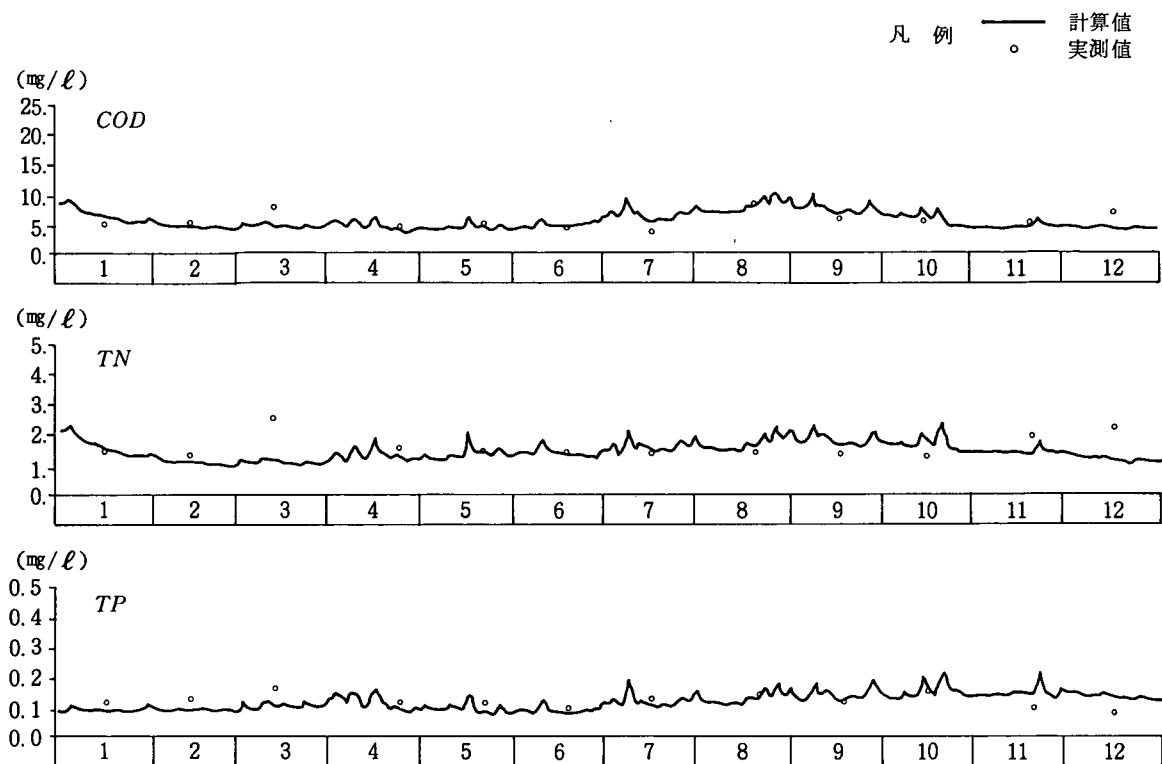


図-3.33 下流 (Y 地点) 河川水質再現計算結果 (昭和55年)

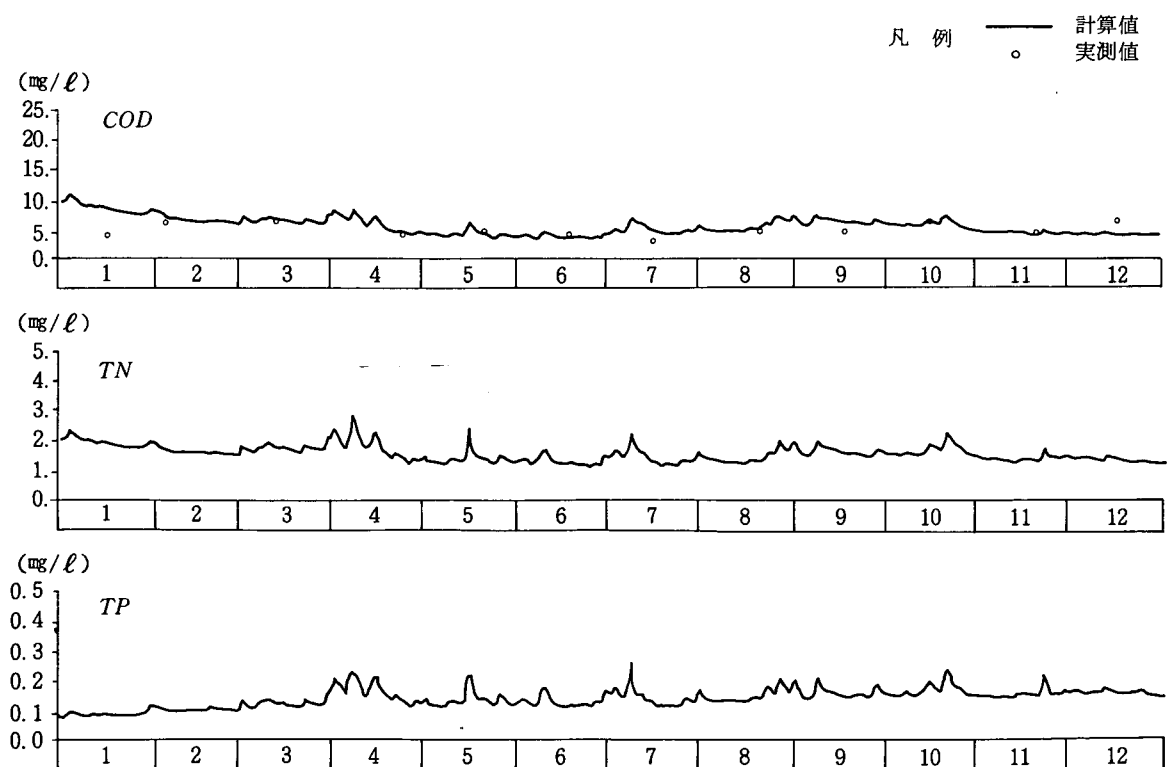


図-3.34 下流 (Z 地点) 河川水質再現計算結果 (昭和55年)

は *COD* が実測値に比べて大きな値となっている。*TN*, *TP* は実測値が少ないため定量的なモデルの妥当性を論じることはできないが、年間を通して徐々に悪化の傾向にあり、その適否について検討を要するところである。

湖内水質については概ね年間の変化傾向は再現されているが、*COD*, *TN* の一時期は実測値と計算値に誤差が見られる。*COD* は8月～9月の夏期において、これが顕著である。この時期は植物プランクトンの増殖等湖内一次生産が活発で、それに応じて *COD* の実測値も変動するものである。しかしながら、本モデルでは植物プランクトン等による *COD* の内部生産は年間の変動パターンで与えており、気象条件や環境境界条件の変化に応答するモデルとはなっていないため、このような現象を詳細に表現することはできない。一方、*TP* は年間を通して計算値の方が実測値より高めであるが、3月上旬には実測値が特異的に相当高くなっている。これについては実測値そのものの妥当性も含めて検討する必要がある。

下流河川水質は *Y* 地点と *Z* 地点の2地点で再現計算を行っているが、図—3.33～3.34 に示すように各水質項目とも概ね実測値を再現している (*Z* 地点における *TN*, *TP* の実測値はない)。これは、河川での内部生産が湖沼ほど活発ではなく、計算された各水質項目が大きな変動を示すことがないためであろう。また、この計算では、*S* 湖からの流出河川水質を実測水質で与えられていることも精度を高めている要因の一つと考えられる。今後は、流出河川水質をモデルにより計算された湖内水質を用い、下流河川水質を算出し、今回の結果と比較、検討しておく必要がある。

上述の計算結果を *S* 湖及び流域の水質 (負荷) 循環として表—3.10, 図—3.35 に整理する。図—3.35 の両図を比較するとモデル計算結果は概ね実績による負荷循環を再現しておりモデル計算の妥当性を示すとともに、実測では得られない流域内部の負荷循環機構も表現されている。尚、湖内水質が実測値よりも低く計算されており、これについてはさらに検討が必要である。

S 湖での汚濁源も *K* 湖と同様に生活雑排水、工場排水、網生簀養殖による負荷のウェイトが大きいようである。しかし、家畜等による負荷量は *K* 湖ほど大きな割合を占めてはいない。これは、当該流域における家畜の飼育状態が牛約 10,000 頭、豚約 10,600 頭ほどにすぎないためである。

3.5.2.2 将来予測計算

前節では *S* 湖における昭和 55 年のモデル同定及び現況再現計算を行い、その結果本モデルは概ね良好な再現性を有していることが示された。そこで、本モデルを用いて *S* 湖流域における水量、水質の将来予測計算を行ってみた。将来予測年次は昭和 70 年 (西暦 1995 年) と昭和 80 年 (西暦 2005 年) とし、それぞれの年次における流域諸条件 (社会経済活動、水利用、土地利用状況) を設定し、予測計算を行った。

(1) 入力条件の設定

昭和 70 年および昭和 80 年の各予測検討ケースにおいて必要となる入力条件を設定する。尚、現況再現計算と同様の条件はそれを用いた。

1) 流域基本フレーム

昭和 80 年人口は「*T* 川流総計画」見直し検討概要に示された市町村別の人口を、現況再現と同様の比率により各流域に配分した。また、昭和 70 年人口は「同計画」見直しの結果に示された昭和 70 年、80 年の人口比率と先に設定した昭和 80 年人口より算出した。

表－3.10 湖沼，流域の水質（負荷）循環

		項 目	計 算 値			項 目	計 算 値
湖 沼	COD	湖 水 質	6.136 ㎎/ℓ	流域 2	COD	河 川 水 質	5.721 ㎎/ℓ
		湖 流 入 負 荷 量	7.117 t/日			河川流出負荷量	15.541 t/日
		湖内取水負荷量	0.052 t/日			初期残存負荷量	533 ton
		湖面降雨負荷量	0.039 t/日			最終残存負荷量	384 ton
		網いけす負荷量	0.789 t/日				
		湖流出負荷量	10.770 t/日		TN	河 川 水 質	1.413 ㎎/ℓ
	TN	湖 水 質	1.177 ㎎/ℓ			河川流出負荷量	3.881 t/日
		湖 流 入 負 荷 量	3.255 t/日			初期残存負荷量	133 ton
		湖内取水負荷量	0.010 t/日			最終残存負荷量	94.6 ton
		湖面降雨負荷量	0.024 t/日				河 川 水 質
		網いけす負荷量	0.215 t/日		河川流出負荷量		0.329 t/日
		湖流出負荷量	2.066 t/日		初期残存負荷量		4.5 ton
	TP		最終残存負荷量	9.4 ton			
		湖 水 質	0.102 ㎎/ℓ	COD	河 川 水 質		5.408 ㎎/ℓ
		湖流入負荷量	0.357 t/日		河川流出負荷量	20.372 t/日	
		湖内取水負荷量	0.001 t/日		初期残存負荷量	743 ton	
		湖面降雨負荷量	0.001 t/日		最終残存負荷量	458 ton	
		網いけす負荷量	0.047 t/日		TN	河 川 水 質	1.541 ㎎/ℓ
流域 3	湖流出負荷量	0.179 t/日	河川流出負荷量	6.000 t/日			
	COD	河 川 水 質	3.735 ㎎/ℓ	初期残存負荷量		160 ton	
		河川流出負荷量	7.117 t/日	最終残存負荷量		122 ton	
		初期残存負荷量	467 ton			河 川 水 質	0.138 ㎎/ℓ
		最終残存負荷量	599 ton		河川流出負荷量	0.582 t/日	
	TN	河 川 水 質	1.607 ㎎/ℓ		初期残存負荷量	5.4 ton	
		河川流出負荷量	3.255 t/日		最終残存負荷量	15.5 ton	
		初期残存負荷量	117 ton				
		最終残存負荷量	198 ton				
		河 川 水 質	0.184 ㎎/ℓ				
		河川流出負荷量	0.357 t/日				
		初期残存負荷量	18.7 ton				
最終残存負荷量		85.0 ton					

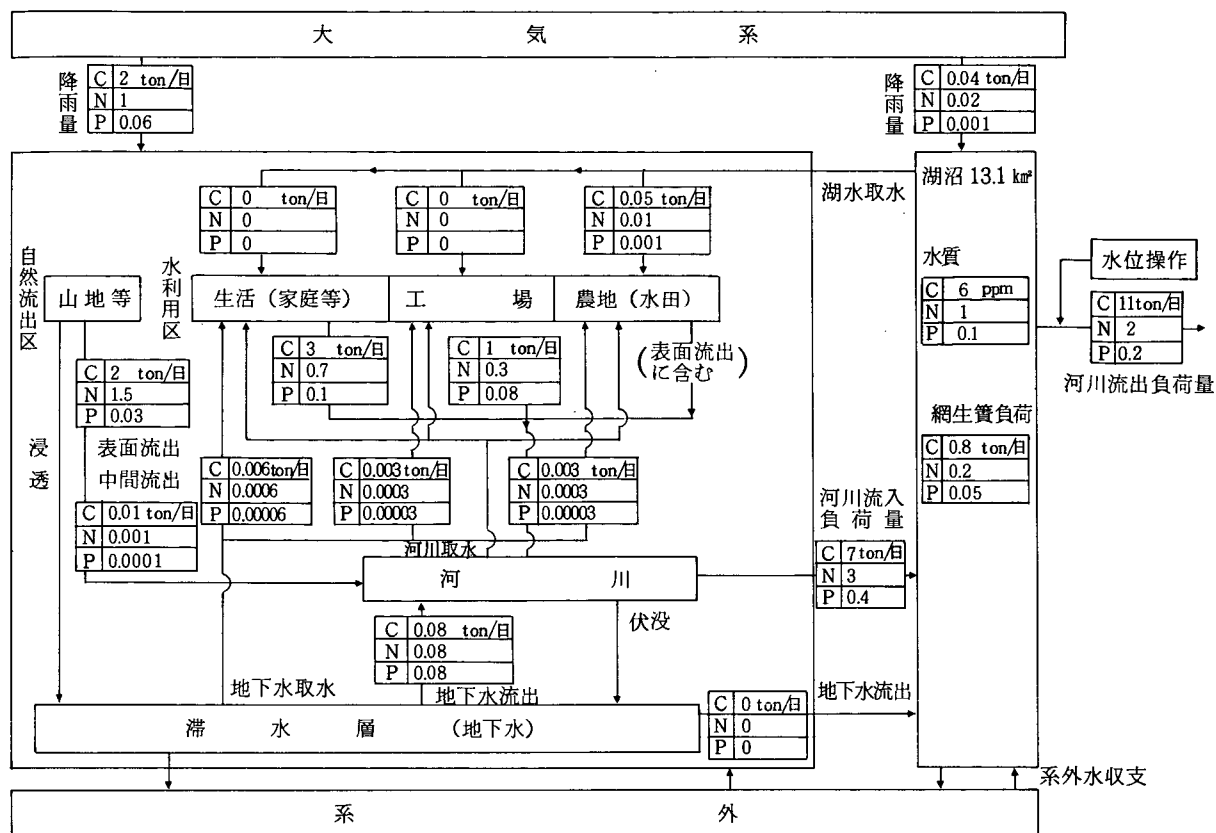


図-3.35(1) モデル計算によるS湖流域負荷量収支 (昭和55年)

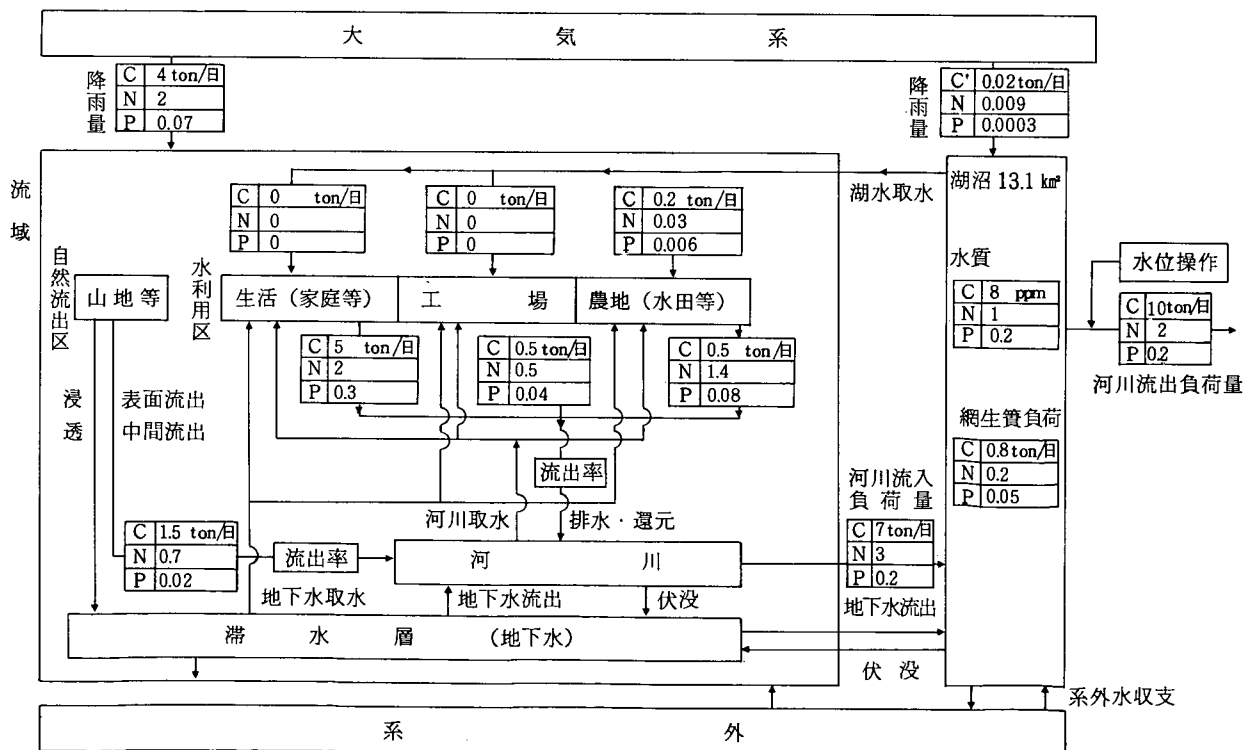


図-3.35(2) 実績資料によるS湖流域負荷量収支 (昭和55年)

工業出荷額および家畜頭数についても人口と同様な方法により設定した。

各年の流域フレームを表-3.11 に整理して示す。

表-3.11 流域の基本フレーム

流域 フレーム		1			2			3		
		昭和55	昭和70	昭和80	昭和55	昭和70	昭和80	昭和55	昭和70	昭和80
人口 (人)		155,361	161,000	163,412	47,479	50,500	51,306	60,286	68,000	69,046
工業出荷額 (億円)		3,879	7,363	12,501	1,225	3,492	5,928	1,338	5,032	8,543
家畜 (頭)	牛	2,366	2,625	3,063	633	1,009	1,177	6,926	12,263	14,309
	豚	6,461	2,811	3,428	765	605	738	3,356	3,108	3,790

2) 土地利用状況

「T川流総計画」では、面源負荷量算定にあたって現況、将来とも山林、田、畑の面積を一定としており、土地利用の変化は計画に含まれていない。そこで本検討においては、土地利用状況の変化として山地の農地化（水田及び畑地）、山地の市街地化及び農地の市街地化を次のように設定した。

流域の土地利用状況は山地 780 km^2 、水田 78 km^2 、畑地 63 km^2 、市街地 34 km^2 となっており、ここでは山地面積の10%を農地（水田、畑）または市街地に、農地（水田、畑）面積の50%を市街地化すること、また水田の50%を畑地に転用することとして将来の土地利用状況を設定した。

3) 水利用状況

湖沼及び流域においては現在具体的な水開発計画はないが、基本的には用水量（排水量）の原単位は変化する。ここでは「T川流総計画」見直し検討結果より、家庭排水量、工場排水量の将来原単位を設定した。尚、家畜排水量原単位は現況と同様である。設定した排水量原単位を表-3.12～3.13 に示す。

(2) 将来予測結果

上述の将来予測計算条件にしたがって、本モデルによる予測計算を実施した。計算の初期条件は現況再現計算と同様のものを与えたため、湖水質の経年的な悪化や底泥からの溶出速度の変化、流域における初期残存負荷量の変化等は考慮していない。従って、実際には計算結果よりさらに水質等は悪くなる可能性がある。図-3.36～3.37 にS湖への流入河川水質および湖水質の年間経時変化を示す。図には昭和55年現況再現結果も併せて掲載した。また、図-3.38 では単独フレームが変化した場合と全フレームが変化した場合について年間平均値を各水質毎に比較してみた。

各水質項目とも現況に比べ、昭和70年、80年となるにしたがって、悪化する傾向にある。特にCOD、TPは悪化の度合いが大きい。図-3.38 から、水質悪化の主要因は工業出荷額の増大にあることが理解される。すなわち、人口や家畜のフレームをそれぞれ単独に変化させた場合にはほとんど変化しないのに対して、

表-3.12 家庭排水量原単位

年次	S.55	S.70	S.80
原単位 (ℓ/人/日)	300	400	450

表-3.13 工場排水量原単位

(m³/日・百万円)

年	S. 55	S. 70	S. 80
食料品	0.3750	0.3750	0.3215
繊維工業	0.1423	0.1423	0.1423
衣服その他	0.0979	0.0844	0.0661
木材木製品	0.0058	0.0058	0.0058
家具装備品	0.0841	0.0668	0.0562
パルプ紙	0.5032	0.3264	0.2304
出版印刷	0.0252	0.0149	0.0096
化学工業	0.1973	0.1267	0.0830
石油石炭	—	—	—
ゴム製品	0.1402	0.0756	0.0466
皮革	0.1703	0.1283	0.1160
窯業土石	0.2720	0.2720	0.2720
鉄鋼業	0.0198	0.0155	0.0121
非鉄金属	0.0784	0.0608	0.0553
金属製品	0.1231	0.1222	0.0986
一般機械	0.0237	0.0121	0.0073
電機機械	0.0669	0.0440	0.0309
輸送機械	0.1320	0.0574	0.0328
精密機械	0.0497	0.0497	0.0435
その他	0.0819	0.0792	0.0685

注) 出荷額はS.55年価格。

工業出荷額のフレームの変化は直接的に水質を悪化されており、全フレームの変化の中で水質悪化に対して支配的なインパクトを有している。この理由は人口、家畜といったフレームが昭和80年になっても現況の1.08倍、1.87倍(牛)、0.75倍(豚)といった変化にとどまっているのに対し、工業出荷額は4.2倍という大きな伸びを示すためである。さらに総負荷量といった観点からも、人口は28万人、牛18,500頭、豚8,000頭程度であるのに対して工業出荷額は2兆7,000億円と非常に大きく、河川水質や湖水質に支配的な影響を与えている(表-3.11参照)。このようにS湖流域で発達している精密機械工業は重要な産業である一方で、S湖の水質には多大なる影響を今後共与えていくものと思われる。

次に昭和80年時点でのS湖流域の水循環、負荷循環を表-3.14~3.15、図-3.39~3.40に示す。これらの図表は表-3.9~3.10、図-3.30、3.35との比較で見れば循環過程の違いが理解し易い。水循環については工場からの排水量が0.3 m³/sから1.4 m³/sに増加し、結果として河川流入量を20 m³/sから21 m³/sに増大させている。また湖内では流入量が増した分だけ貯留することから水位が17cm、貯留量が100万 m³、それぞれ増えている。負荷循環も、工場排水関係が3~4倍程度の負荷量となり、河川流入負荷量を大きくしている。この結果、湖内の水質は悪化し、その影響を受けて湖沼からの流出負荷量、取水負荷量を増加させている。

以上のように、本モデルを用いれば流域内の水量水質循環の将来予測を行うことが可能であり、流域内における湖沼汚濁要因の検討や各種対策の効果評価にも非常に有用であると考えられる。

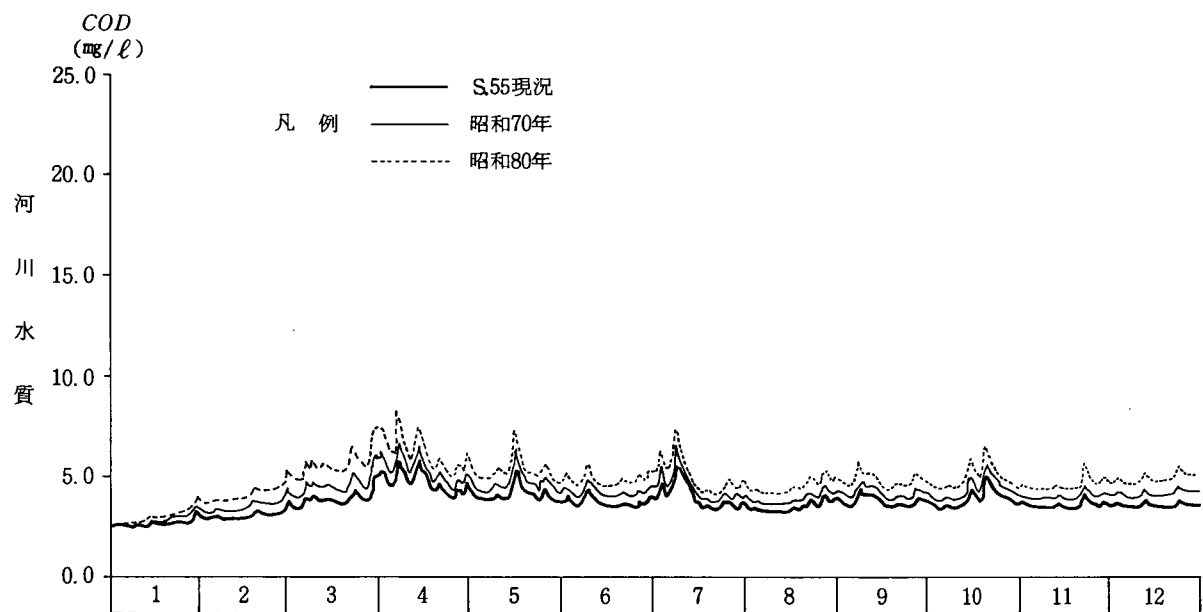


図-3.36(1) 将来水質予測計算結果 (流入河川 COD)

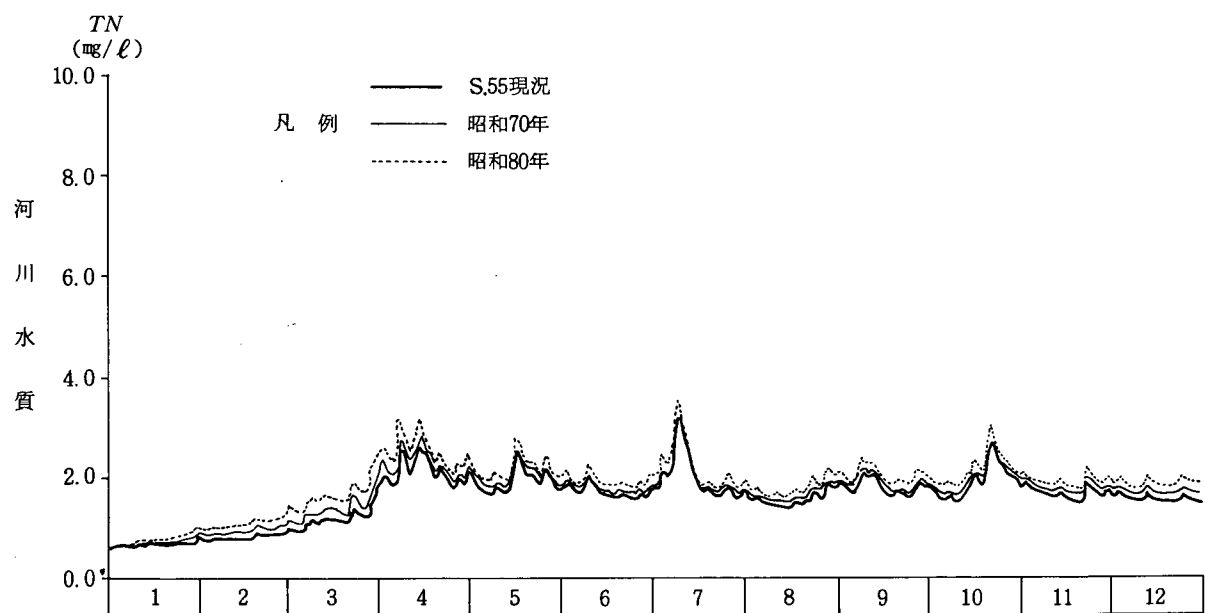


図-3.36(2) 将来水質予測計算結果 (流入河川 TN)

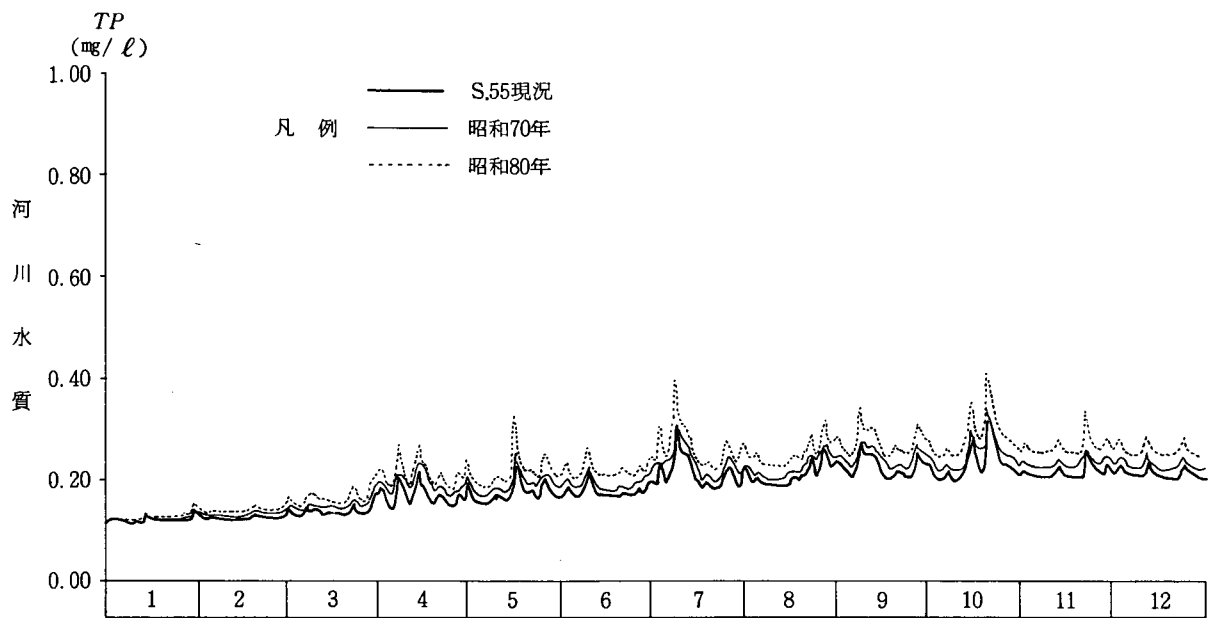


図-3.36(3) 将来水質予測計算結果 (流入河川 TP)

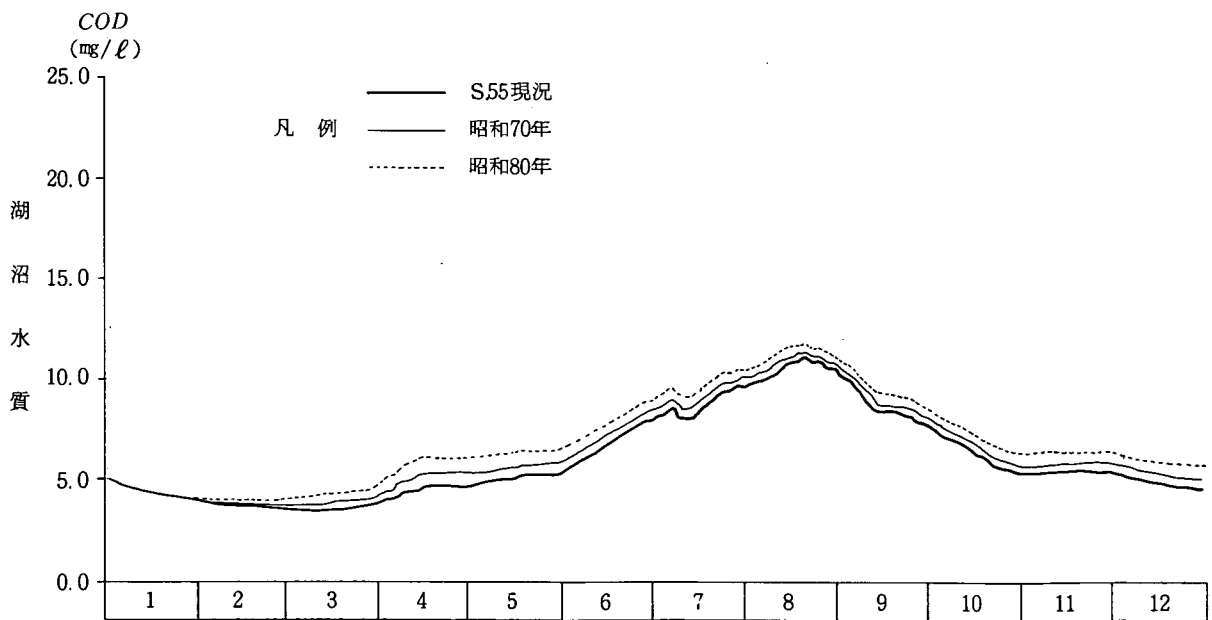


図-3.37(1) 将来水質予測計算結果 (湖内 COD)

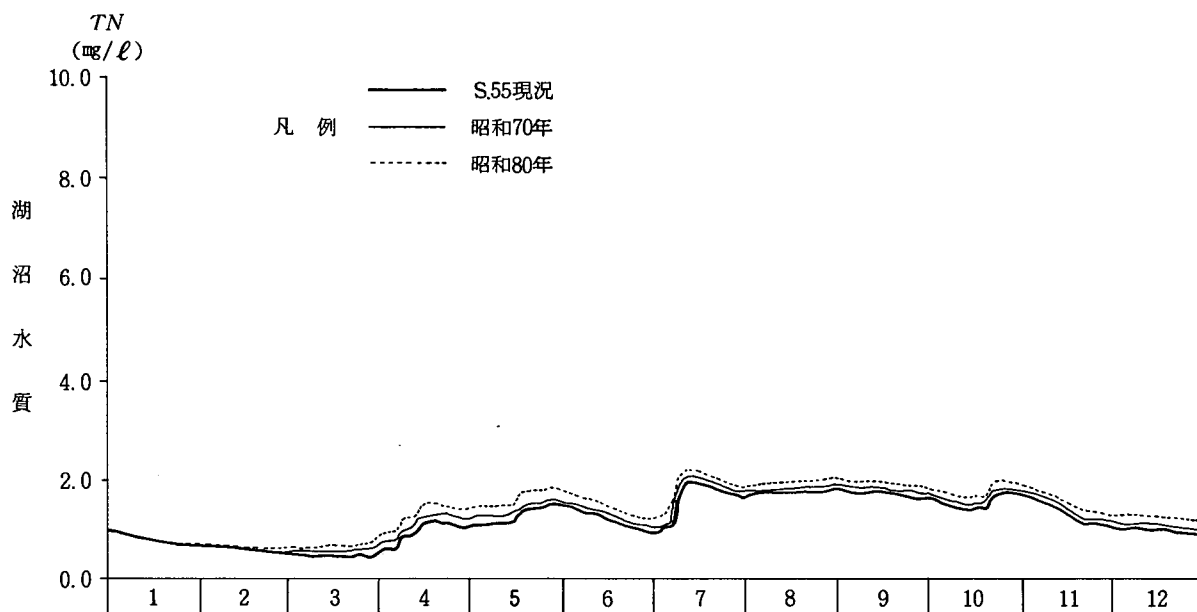


図- 3.37(2) 将来水質予測計算結果 (湖内 TN)

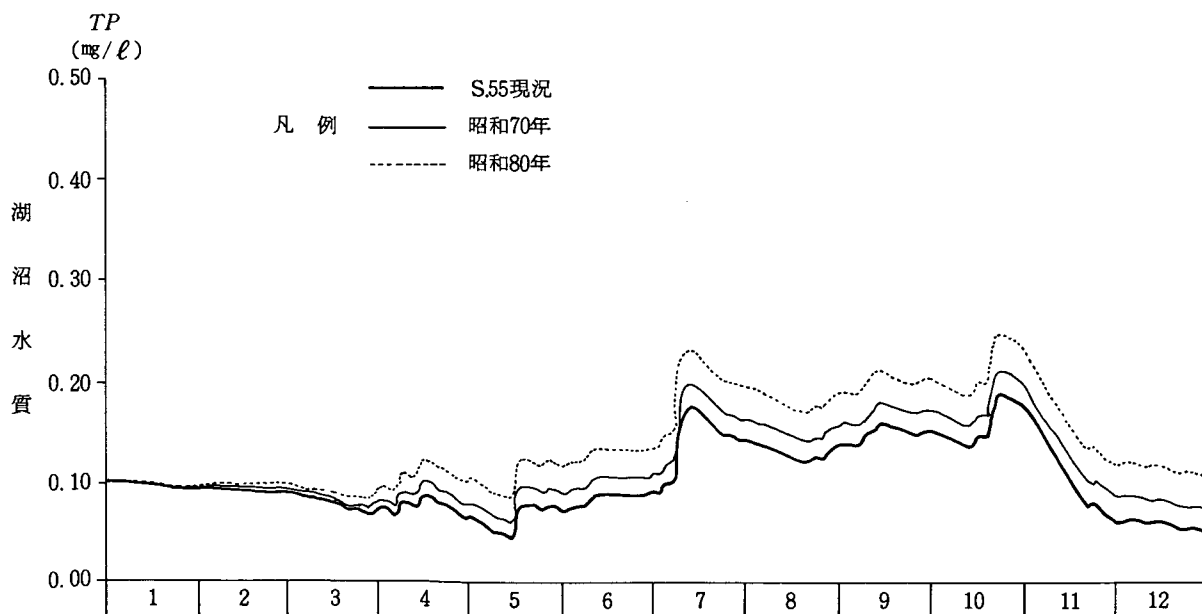


図- 3.37(3) 将来水質予測計算結果 (湖内 TP)

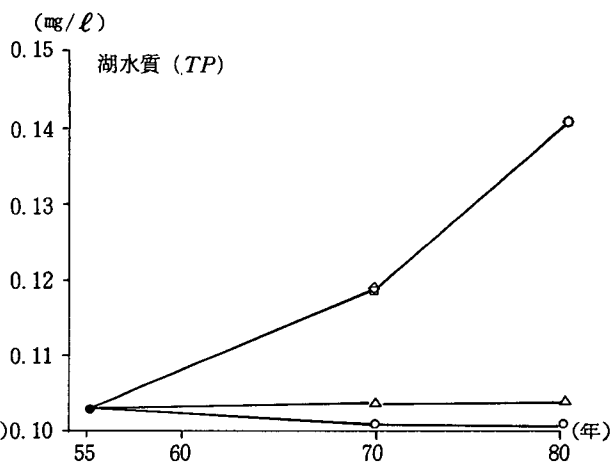
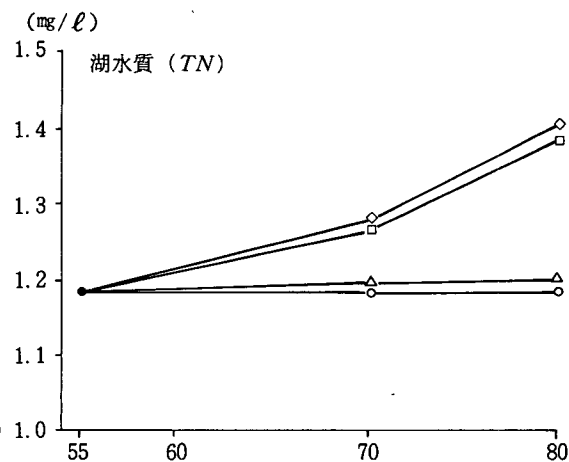
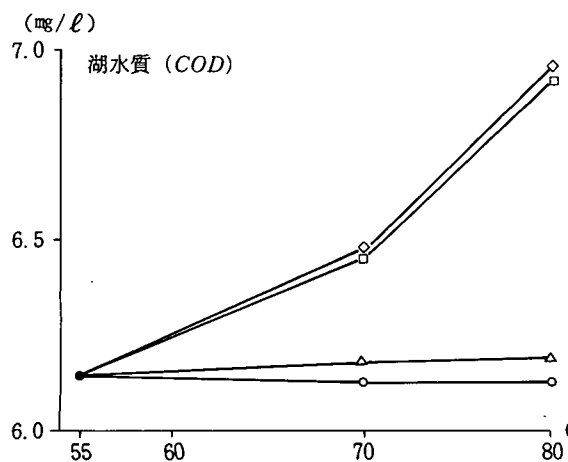
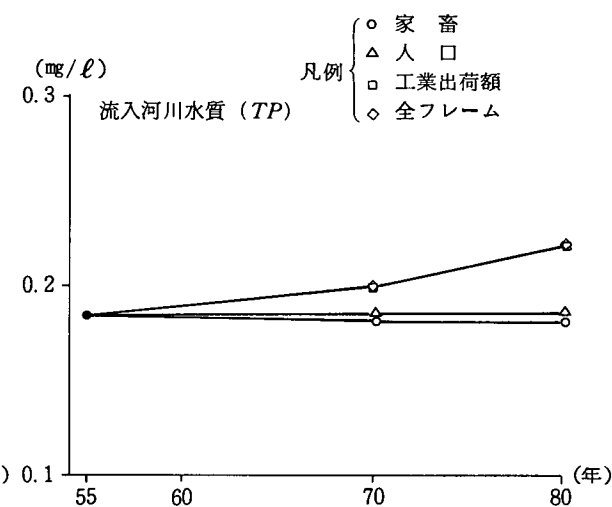
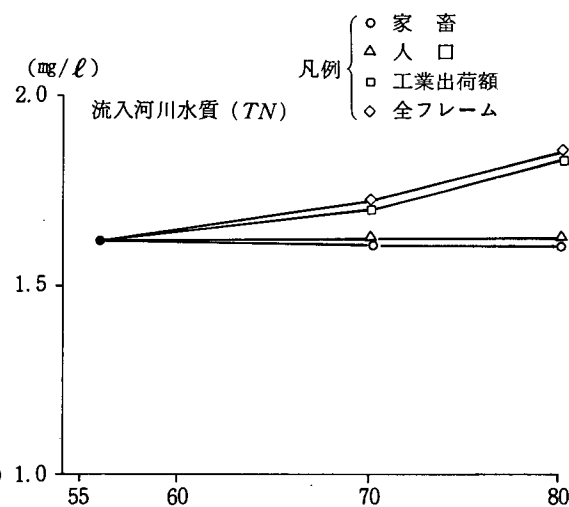
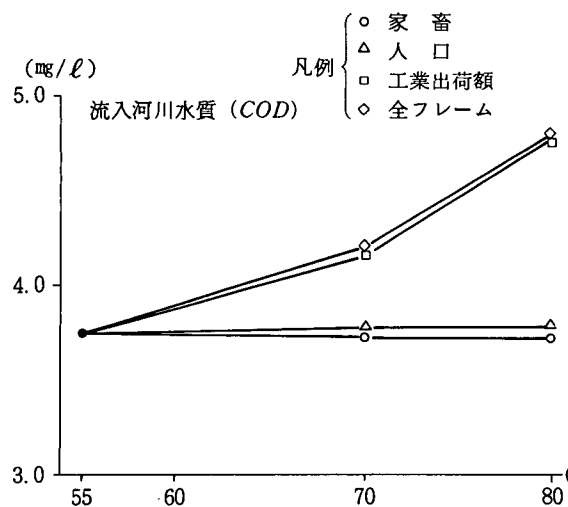


図-3.38(1) 将来水質予測計算結果比較図 (COD)

図-3.38(2) 将来水質予測計算結果比較図 (TN)

図-3.38(3) 将来水質予測計算結果比較図 (TP)

表-3.14 湖沼，流域の水循環

	項 目	計 算 値
湖 沼	湖 水 位	0.970 m (年 平 均)
	湖 容 量	6,100 万 m ³ (年 平 均)
	河川流入量	21.202 m ³ / s
	湖内取水量 (都市用水)	0.0 m ³ / s
	湖内取水量 (農 水)	0.099 m ³ / s (年 平 均)
	湖面降雨量	1,037 mm / 年 (0.437 m ³ / s)
	湖面蒸発量	590 mm / 年 (0.249 m ³ / s)
	湖沼流入量	21.293 m ³ / s
	湖 流 出 量	21.211 m ³ / s (実 績 値)
流 域 1	流域降雨量	1,363 mm / 年 (22.384 m ³ / s)
	流域流出率	0.953
	農水取水量 (河川+湖沼)	0.099 m ³ / s (年 平 均)
	水田降水量	1,363 mm / 年 (1.624 m ³ / s)
	水田蒸発量	184 mm / 年 (0.220 m ³ / s)
	農水還元量 (表面流出)	0.928 m ³ / s
	農水還元率	61.6 %
流 域 2	流域降雨量	1,945 mm / 年 (12.308 m ³ / s)
	流域流出率	0.555
	農水取水量 (河川+湖沼)	0 m ³ / s (年 平 均)
	水田降水量	1,945 mm / 年 (0.509 m ³ / s)
	水田蒸発量	450 mm / 年 (0.118 m ³ / s)
	農水還元量 (表面流出)	0.249 m ³ / s
	農水還元率	63.7 %
流 域 3	流域降雨量	1,833 mm / 年 (13.815 m ³ / s)
	流域流出率	0.989
	農水取水量 (河川+湖沼)	0 m ³ / s (年 平 均)
	水田降水量	1,833 mm / 年 (1.849 m ³ / s)
	水田蒸発量	0 mm / 年 (0 m ³ / s)
	農水還元量 (表面流出)	1.132 m ³ / s
	農水還元率	61.3 %

表－3.15 湖沼，流域の水質（負荷）循環

		項 目	計 算 値			項 目	計 算 値		
湖 沼	COD	湖 水 質	6.958 mg/ℓ	流域 2	COD	河 川 水 質	6.718 mg/ℓ		
		湖流入負荷量	9.523 t/日			河川流出負荷量	18.502 t/日		
		湖内取水負荷量	0.060 t/日			初期残存負荷量	534 ton		
		湖面降雨負荷量	0.039 t/日			最終残存負荷量	439 ton		
		網いけす負荷量	0.789 t/日						
		湖流出負荷量	12.751 t/日						
	TN	湖 水 質	1.400 mg/ℓ		TN	河 川 水 質	1.667 mg/ℓ		
		湖流入負荷量	3.853 t/日			河川流出負荷量	4.648 t/日		
		湖内取水負荷量	0.012 t/日			初期残存負荷量	133 ton		
		湖面降雨負荷量	0.024 t/日			最終残存負荷量	108 ton		
		網いけす負荷量	0.215 t/日						
		湖流出負荷量	2.566 t/日						
	TP	湖 水 質	0.141 mg/ℓ		TP	河 川 水 質	0.170 mg/ℓ		
		湖流入負荷量	0.452 t/日			河川流出負荷量	0.489 t/日		
		湖内取水負荷量	0.001 t/日			初期残存負荷量	4.65 ton		
		湖面降雨負荷量	0.001 t/日			最終残存負荷量	21.4 ton		
		網いけす負荷量	0.047 t/日						
		湖流出負荷量	0.258 t/日						
流域 1	COD	河 川 水 質	4.822 mg/日	流域 3	COD	河 川 水 質	6.633 mg/ℓ		
		河川流出負荷量	9.523 t/日			河川流出負荷量	25.329 t/日		
		初期残存負荷量	469 ton			初期残存負荷量	745 ton		
		最終残存負荷量	709 ton			最終残存負荷量	552 ton		
		TN	河 川 水 質			1.843 mg/ℓ	TN	河 川 水 質	1.903 mg/ℓ
			河川流出負荷量			3.853 t/日		河川流出負荷量	7.418 t/日
	初期残存負荷量		117 ton		初期残存負荷量	160 ton			
	最終残存負荷量		216 ton		最終残存負荷量	144 ton			
	TP	河 川 水 質	0.221 mg/ℓ		TP	河 川 水 質	0.205 mg/ℓ		
		河川流出負荷量	0.452 t/日			河川流出負荷量	0.898 t/日		
		初期残存負荷量	18.9 ton			初期残存負荷量	5.63 ton		
		最終残存負荷量	124 ton			最終残存負荷量	34.0 ton		

※降雨蒸発等は S.55実績値

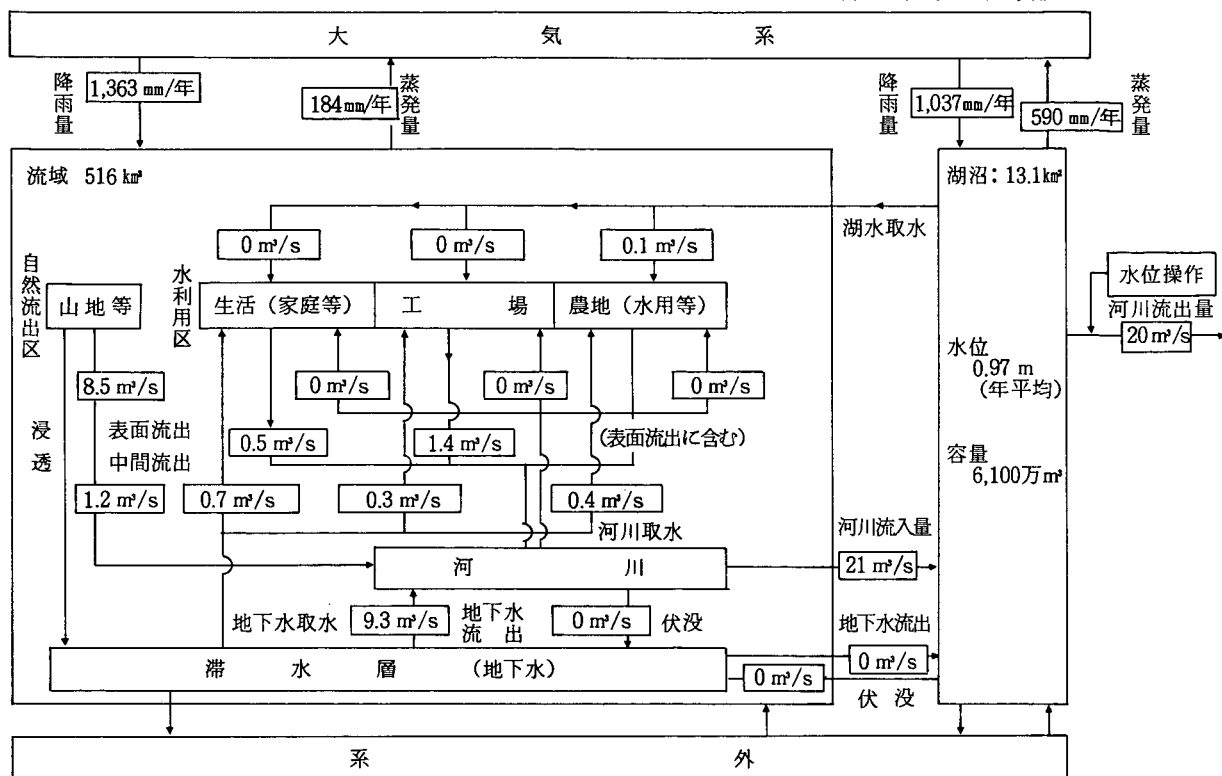


図 - 3.39 S湖流域水循環予測概要図 (昭和80年)

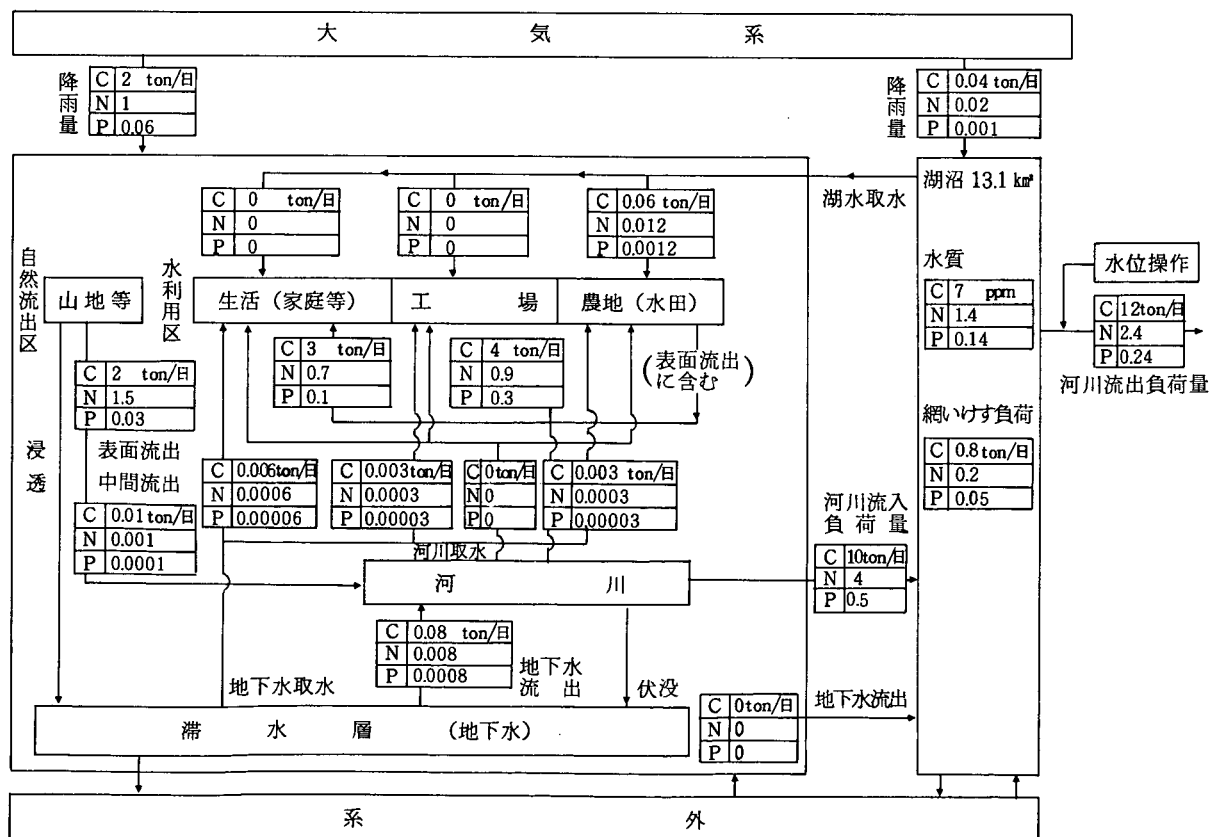


図 - 3.40 S湖流域負荷循環予測概要図 (昭和80年)

3.5.3 モデルの今後の検討課題

モデル湖沼における適用計算結果により、水量・水質循環モデルは、一部課題を残しているものの湖沼流域の水循環、負荷循環過程を概ね表現し、湖沼の汚濁機構の解明と流域における負荷削減対策の効果評価に資するものと思われる。

本モデルの今後の課題としては以下のようなものがある。

(1) モデルの精度向上に関する課題

水量の流出を低水時（渇水時も含めて）及び洪水時ともに再現することや、負荷量の蓄積、流出形態を長期的に把握するためには、再現対象年次を単年ではなく、連続した数年間設定する必要がある。

また、負荷収支モデルに関する既往検討事例が少ないためにモデルの評価を全般的な視点から行なったが、流域（地下も含めて）及び湖沼の水（水質）管理に求められる精度は高いものと考えられることから、今後の再現検討では種々の単独河川流域について負荷収支モデルの適用を試み、モデルの全体的な精度向上をはかる必要がある。

一方、モデルの同定にあたって現状ではタンクのパラメータ等を実測値に合うよう試行錯誤的に設定せざるを得ない。従って、水量・水質観測を場所的、時間的に出来るだけ綿密に実施することがモデルの精度向上には望ましいが、現実には種々の制約があり十分な実測値を得ることは困難である。そこで限られた経費の中でモデルの妥当性をチェックし、さらに精度向上を図るために必要な調査項目を抽出し観測しておかなければならない。例えば、地下水位、地下水水質や農水取排水量とその水質等が挙げられる。これらのデータが揃うことにより尚一層信頼性の高いモデルになるものと思われる。

(2) モデルの拡張に関する課題

本モデルは降雨や取排水による流域内での水循環・負荷循環過程を追跡し、湖沼へのインパクトとして作用する流入水量や流入負荷量を出力するモデルである。しかし、最終的な評価は湖沼水質や湖沼からの取放水の水量・水質で行われる場合が多い。このために、本モデルを湖内の水理¹⁶⁾（流動・水質変化過程）を組み込んだ湖沼～流域モデルに拡張する必要がある。

(3) モデルの利用に関する課題

水量・水質循環モデルの利用には以下の4項目が考えられる。

- ① 調査計画の作成
- ② 湖沼汚濁機構の明確化
- ③ 湖沼及びその流域の将来予測
- ④ 汚濁負荷削減対策の立案とその効果評価

これらはいずれも実務面からも強く期待されているものであるが、特に③、④については高い精度の答を要求されている。これについては、モデル定数の設定方法や対策のモデル上での取り扱いなど検討を要する部分が多い。今後は、現況で同定化したモデル定数と、流域条件等との関係について検討し、流域条件等の変化による将来予測計算におけるモデル定数の設定方法について検討する必要がある。検討項目としては、以下のものが考えられる。

- 森林面積（森林の機能）
- 農地面積，土壤改良
- 道路の舗装化
- 下水道整備の促進（雨水流出抑制対策や土壤浄化施設の導入）
- 河道改修や河川構造物（浄化施設等）の設置

これらとモデル定数の関係を検討するには，多くの湖沼流域に本モデルの適用を試み，その結果から検討する必要がある。

尚，この湖沼流域水量・水質循環モデルは建設省総合技術開発プロジェクト「湖沼の総合的水管理技術の開発¹⁷⁾」の一環として開発したものであることを付記しておく。

3.6 参考文献

本章で引用した参考文献を以下に示す。

- 1) 振井茂宏・森北佳昭：水量・水質循環モデルの検討について，ダム技術，Vol. 2, No. 3, 1984
- 2) 森北佳昭・松下越夫：湖沼流域における水量・水質循環モデルの検討，土木技術資料，Vol. 27, No. 12, 1985
- 3) 菅原正己：流出解析法，水文学講座 7，共立出版，1972
- 4) 下垣久・白水清志・磯部明久・秋元保：試験流域における降雨・流出解析，第 23 回水理講演会論文集，pp. 205～210, 1979
- 5) 山口高志・吉川勝秀・浅野富夫：河川水質・負荷量の変動特性とそのシミュレーション，土木技術資料，Vol. 22, No. 9, 1980
- 6) 中村栄一：都市流出水による汚濁流出シミュレーション——雨天時合流式下水道からの COD 流出——，土木技術資料，Vol. 23, No. 5, 1981
- 7) 海老瀬潜一・宗宮功・平野良雄：タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量解析，用水と廃水，Vol. 21, No. 12, 1979
- 8) 小玉陽一・内海武士・合田周平等：システムダイナミックス，共立出版，1973
- 9) 吉川博也：環境アセスメントの基礎手法，鹿島出版会，昭和 50 年 9 月
- 10) 日本水質汚濁研究協会：湖沼環境調査指針，公害対策技術同友会，1982
- 11) 建設省：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，1980
- 12) 建設省河川局：建設省河川砂防技術基準(案)，山海堂，1976
- 13) 建設省水文研究会：流出計算例題集 2，全日本建設技術協会，昭和 46 年 5 月
- 14) 和田英太郎・上原洋一：自然界における脱窒過程，化学と生物，Vol. 15, No. 98, 1977
- 15) Focht, D. D. and Verstaete W. : Biochemical Ecology of Nitrification and Denitrification, in Advances in Microbial Ecology, Vol. 1, edited by Alexander M., Plenum Press, 1977
- 16) A. レルマン編，奥田節夫・半田鴨彦訳：湖沼の化学，古今書院，昭和 59 年 11 月
- 17) 建設省土木研究所，国土開発技術研究センター：湖沼の総合的水管理技術の開発に関する研究報告書，(1983, 1984, 1985, 1986)

4. あとがき

本報告書では、河川や湖沼流域での水量・水質を予測解析する数値解析モデルを提示した。

すなわち、第2章では、河川の水資源管理に役立つ低水流出量及び河川への流出負荷量を日単位でシミュレートできる河川水量・水質予測モデルについて述べた。

この河川水量・水質予測モデルにおいては、実流域へのモデルの適用性を高めるために、モデルのパラメータを河川流量及び水質の実測データから自動決定を可能にする準線形化手法を用いていることが特色として挙げられる。

水量モデルについては、これまでの調査において流出現象の非線形性は降雨の分離過程にあるものと考えたモデル分析を行ってきたのに対し、今回は地下水流出量と全流出量を同時に推定するという立場は踏襲しつつ、次の2つのモデルを検討した。すなわち、降雨の分離則は地下水位に追従して時々刻々と変化する地下水流出生起場と直接流出生起場を考えることにより線形モデルとして取り扱い、現象の非線形を直接流出過程にて考慮したモデルと、直接流出も線形においたモデルを設定した。具体的には前者は貯留関数モデル、後者はタンクモデルを用いている。以上の2つのモデルについて準線形化手法を援用したモデル同定手法による実流域への適用性を検討したところ、精度的には高水部に比べて低水部の方が若干ではあるが高いことがわかったが、全体的にみるとどちらのモデルも十分な表現能力を備えていることを知り得た。しかしながら、モデル同定の容易さなどを考慮すれば、実用的にはタンクモデルを用いたものの方が適用性において優れていると思われた。

次に水質モデルでは、従来の研究成果を整理した上で、堆積負荷評価モデルを用いることが妥当であることを考察し、統計的なモデルの検討を踏まえて SS 、 Cl^- 、 NH_4^+-N 、 COD の各水質に関するモデル化を行った。さらに上記モデルに対して準線形化によるモデル同定を行ない、水質予測精度を調べたところ、各水質とも実測との良好な適合性を有していることが確認された。また、堆積負荷評価モデルにおいては、回帰モデルでは表現できない負荷の流出現象を良好に推定できることが示された。

なお、本検討においては水量モデル及び水質モデルのパラメータを、季節毎あるいは年間一定値として定めることは、値のばらつきが大きいことや同定されたケースが少ないことから困難であるように思われた。値のばらつきについては、目的関数空間がフラットなため最適解近傍で解が収束したことによるものと考えられるため、その範囲内では予測精度に大きな差異はないものと予想される。今後は得られたパラメータ値の範囲内で、流域特性あるいはパラメータの物理的特性を考慮しながら値を絞り込んでいくことが重要であろう。また、今回の調査では水量・水質モデルの構造そのものよりも、準線形化手法を用いたモデル同定手法の実流域への適用性に重点をおいた分析・検討結果となったが、将来的には流域の水循環・負荷循環機構の一層の解明を計り、それをモデルの構造式に反映させ、さらにモデルの再現性・実用性を高めて河川における水資源管理に資するものとして行きたい。

第3章では、湖沼流域における水循環と負荷循環を追跡するシステム・ダイナミクスモデル（ここでは湖沼流域水量・水質循環モデルと呼んでいる）について述べた。

このモデルを作成した目的は次の3つに大きく分けることができる。

- (1) 湖沼の汚濁機構の明確化
- (2) 湖沼流域における水量・水質の将来予測
- (3) 汚濁負荷削減対策の立案とその効果評価

3.5節における実湖沼流域への適用結果より、この湖沼流域水量・水質循環モデルは、一部課題を残しているものの湖沼流域の水循環、負荷循環過程を概ね表現し、上述の湖沼の将来予測や汚濁機構の解明さらには流域における負荷削減対策の効果評価に資するものと思われる。

しかしながら、現状ではまだ次のような項目が問題点、課題として残されている。

まず、モデルの同定にあたってタンクのパラメータ等は実測値に合うよう試行錯誤的に設定している。従って、水量・水質観測を場所的、時間的に出来るだけ綿密に実施することがモデルの精度向上には望ましいが、現実には種々の制約があるため十分な実測値を得ることは困難である。そこでモデルの妥当性をチェックし、さらに精度向上を図るために必要かつ効率的な観測項目を抽出しておかなければならない。例えば、地下水位、地下水水質や農水取排水量とその水質等が挙げられる。これらのデータがそろふことにより尚一層信頼性の高いモデルになるものと思われる。また同時に、第2章で示した準線形化手法を用いたモデルパラメータの自動決定方法の援用についても、併せて検討しておくことも重要かと考えられる。

次に、本モデルは降雨や取排水による流域内での水循環・負荷循環過程を追跡し、湖沼へのインパクトとして作用する流入水量や流入負荷量を出力するものである。しかし、最終的な評価は湖沼水質や湖沼からの取放水の水量・水質で行なわれる場合が多い。このために、本モデルを湖内の水理（流動・水質変化過程）を組み込んだ湖沼～流域モデルに拡張する必要がある。

また、このモデルの利用には上記3項目が考えられるが、実務面からは(2)将来予測や(3)対策の立案とその効果評価等を行っていくことが要請されている。これについては、シミュレーションを行う際のモデルパラメータの設定方法や対策のモデル上での取り扱いなど、今後さらに検討を加えていく必要がある。

以上のように、両モデルともまだ検討を積み重ねる必要があるが、事務所等において有用かつ実用的なモデルが作成できたと考える。次頁以降には、これらモデルを適用するために必要な指針、計算プログラムとその解説、出力結果の一例を掲載しておく。参考にしていただければ幸いである。

付録A

河川水量・水質予測モデル

目 次

	頁
第1章 概 説	118
第2章 準線形化	120
1. ニュートン・ラプソン法	120
2. 準線形化	120
3. 準線形化の理論	121
第3章 準線形化を用いたパラメータ決定問題	126
第4章 資 料	130
1. ハミングの予測子・修正子法	130
2. 参 考 文 献	130

第1章 概 説

Bellman らの提案した準線形化とは、2章において述べられているが、その概念を要約すると以下の通りである。今、次のような非線形常微分方程式^(註1)を考える。

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = f_1(t, \mathbf{y}) \\ \dot{y}_2 = f_2(t, \mathbf{y}) \\ \vdots \\ \dot{y}_m = f_m(t, \mathbf{y}) \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、

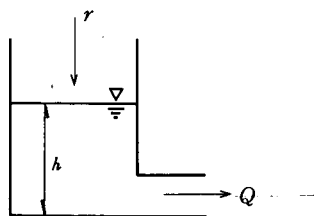
$$\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)^t$$

(1)式は一般に解析的に解を求めることができない。準線形化はこのような(1)式の解を求めるにあたり、(1)式を線形化する手法である。このとき繰り返し手法により解を漸近的に求めていく必要が生ずる。すなわち、準線形化により(1)式は基本的には(注1)の(2)式の形に変換されるが、このとき(2)式の右辺の係数 a が1回目の繰り返しにおいて計算された解： $\mathbf{y}^{(n)}$ の関数となっており、 $\mathbf{y}^{(n)}$ が定まっておれば $\mathbf{y}^{(n+1)}$ は線形常微分方程式の解として簡単に求まる。また、このとき $\mathbf{y}^{(0)}(t)$ ：初期仮定解を設定する必要があり、もし $\mathbf{y}^{(0)}(t)$ が妥当な値であれば、繰り返し演算により次々と定まる解 $\mathbf{y}^{(n)}(t)$ は、比較的速やかに真値に収束することが保証される。ただし、 n は繰り返し回数である。

準線形化は特に内部機構が未知パラメータを介して微分方程式で表現されているとき、この未知パラメータの同定に対し、強力な手法となる。以下、流出を例にとって説明を行うこととする。

流出モデルとして、今、図-1.1のようなタンクモデルを考える。

このとき、次の関係が成立する。



$$\text{連続式； } \frac{dh}{dt} = r - Q \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{運動の式； } Q = m \cdot h \dots\dots\dots (4)$$

r ；降雨 m ；流出率
 h ；タンクの水深 Q ；流出量

図-1.1 タンクモデル

(3), (4)式よりタンクモデルは次式で規定されることになる。

$$\dot{Q} = m \cdot \dot{h} = m \cdot r \dots\dots\dots (5)$$

(5)式において m は流域に応じて定める必要がある。ここで今、流量 Q 及び降雨 r の時系列データがあれば

(注1) 今(1)式の右辺が $y_1, y_2, \dots, y_m$ の線形1次結合。すなわち、

$$\dot{y}_i = f_i(x, \mathbf{y}) = a_1 y_1 + a_2 y_2 + \dots + a_m y_m + a_{m+1} \dots\dots\dots (2)$$

a_i ： t の関数

のとき(1)式は線形であるといい、その他は全て非線形である。また線形であれば解は容易に計算できる。

ば、準線形化を用いることにより最適パラメータ m が自動的に決定される (3章参照)。

ところで、(5)式は基本的には線形であるが、準線形化によるパラメータ同定は決定すべきパラメータ： m を一端従属変数とみなすところに特徴があり、従って (注 1) で述べたように(5)式は非線形な微分方程式：

$$\begin{cases} \dot{Q} = -m \cdot Q + m \cdot r \\ \dot{m} = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

として扱われるものである。当然のことながら(5)式がもともと非線形であっても同様である。

第2章 準線形化

準線形化は「実数空間におけるニュートン・ラプソン法の関数空間への一般化」として考えられるが、以下のことを順を追って説明して行く。

1. ニュートン・ラプソン法

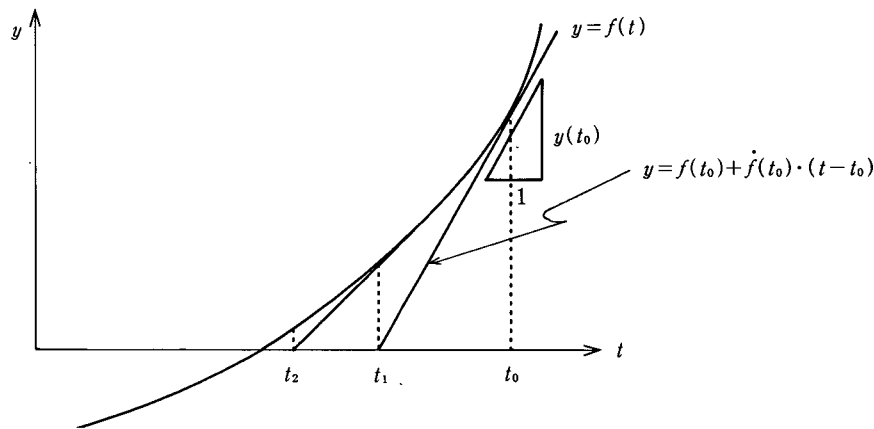


図-2.1 ニュートン・ラプソン法による求解手順

今、次のような非線形方程式

$$y = f(t) = 0 \quad \dots\dots\dots (7)$$

を考える。このとき、 $f(t)$ が t に関して高次の場合、解析的には解くことができない。このため次のような反復的解法を考える（図-2.1 参照）。

- ① (7)式の実根の近似解を t_0 とする。
- ② $(t_0, f(t_0))$ における接線の方程式を求める。

$$y = f(t_0) + f'(t_0)(t - t_0) \quad \dots\dots\dots (8)$$

この右辺は $f(t)$ を t_0 のまわりにテーラー展開し、1 回微分の項までとったことになる。

- ③ (8)式において $y=0$ とおいた解； t_1 を求める。
- ④ t_1 を近似解として同様の繰り返しを行う。

2. 準線形化

1. でニュートン・ラプソン法について説明を行ったが、この場合(7)式は $f(t)$ が実数 t の関数であった。ここで実数 t の代わりに関数 $y(t)$ が従属変数である場合、すなわち

$$f(y, t) = 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

のようなとき、これを関数方程式^(注2) とよび、左辺は汎関数^(注3) となっている。すなわち、(9)式のような場合

(注2) 未知な関数を含む方程式を関数方程式と呼び、微分方程式もまた関数方程式の一種である。

(注3) 関数 $f(t)$ の関数である $f(y, t)$ を汎関数という。

において、 y を時間の関数としての性格を保存させたまま、(8)式のような展開公式(準線形化)により展開し、近似解 $y^{(0)}(t)$ を設定することにより、繰り返し演算によって $y(t)$ を求めようとするのが準線形化の目的である。

以上の説明により、準線形化は関数方程式の数値解法の 1 手法であり具体的には汎関数の展開手法であることが理解され、最初に述べた「実数空間におけるニュートン・ラプソン法の関数空間への一般化」という言葉が明確になったことと思われる。

3. 準線形化の理論

まず、ここでは、関数方程式としての種々の現象を記述する際、度々遭遇する非線形微分方程式を対象として以下説明を進めることとするが、その前に準線形化という手法の結論から述べると、ある非線形汎関数 $f(y(t), t)$ が近似解 $y^{(0)}$ を用いて次のように線形化されるということである。

$$f(y(t), t) \approx f(y^{(0)}(t), t) + J(y^{(0)}(t))(y(t) - y^{(0)}(t)) \dots\dots\dots (10)$$

ただし、

$$J(y^{(0)}(t)) = \left. \frac{\partial f(y, t)}{\partial y} \right|_{y=y^{(0)}}$$

これを図-2.2 で説明すれば、 $f(y(t), t)$ という曲線を得るために、まず $y(t)$ の近似曲線を任意に仮定し、それを $y^{(0)}(t)$ とする。このときの $f(y^{(0)}(t), t)$ 及び $J(y^{(0)}(t))$ は簡単に計算できるので結局 $f(y(t), t)$ は $y^{(0)}(t)$ を仮定することにより、 $y(t)$ に関する 1 次式(線形)になるというものである。

以上の概念は、そのまま多次元変数の場合に拡張され、このとき(10)式はベクトル表示により次のように書き換えられる。

$$f(y(t), t) \approx f(y^{(0)}(t), t) + J(y^{(0)}(t))(y(t) - y^{(0)}(t)) \dots\dots\dots (11)$$

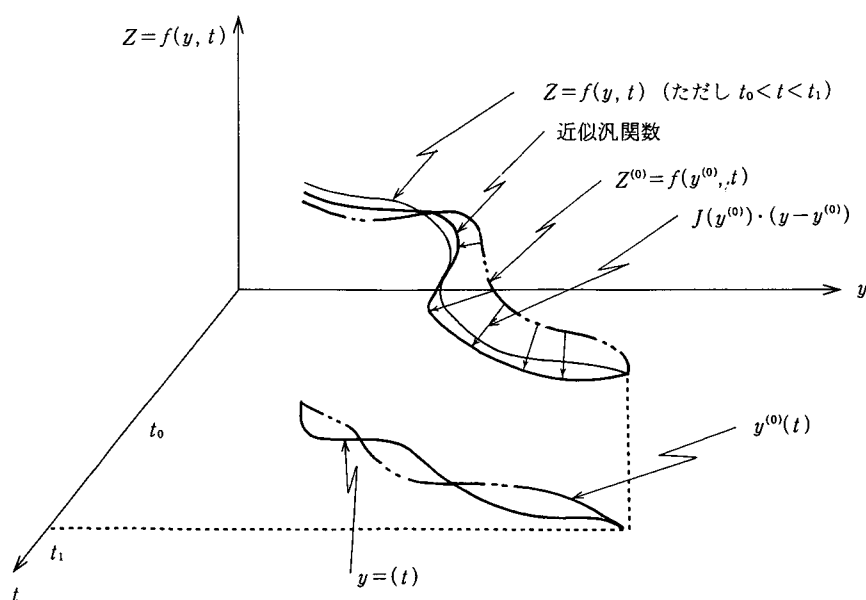


図-2.2 準線形化の概念

ここで $\mathbf{J}(\mathbf{y})$ はヤコビアンと呼ばれ、微係数に相当するもので次式で定義される^(注4)。

$$\mathbf{J}(\mathbf{y}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial y_1}, \frac{\partial f_1}{\partial y_2}, \dots, \frac{\partial f_1}{\partial y_m} \\ \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial y_1}, \frac{\partial f_m}{\partial y_2}, \dots, \frac{\partial f_m}{\partial y_m} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (12)$$

ただし、

$$\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)^t$$

$$\mathbf{f} = (f_1, f_2, \dots, f_m)^t$$

ここに、 t は転置行列を示す。

この場合(11)式は行列表示で次のように表わせる。

$$\begin{bmatrix} f_1(\mathbf{y}(t), t) \\ f_2(\mathbf{y}(t), t) \\ \vdots \\ f_m(\mathbf{y}(t), t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{y}^{(0)}(t), t) \\ f_2(\mathbf{y}^{(0)}(t), t) \\ \vdots \\ f_m(\mathbf{y}^{(0)}(t), t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial y_1}, \frac{\partial f_1}{\partial y_2}, \dots, \frac{\partial f_1}{\partial y_m} \\ \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial y_1}, \frac{\partial f_m}{\partial y_2}, \dots, \frac{\partial f_m}{\partial y_m} \end{bmatrix} \mathbf{y} = \mathbf{y}^{(0)} \begin{bmatrix} y_1(t) - y_1^{(0)}(t) \\ y_2(t) - y_2^{(0)}(t) \\ \vdots \\ y_m(t) - y_m^{(0)}(t) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (13)$$

さて、準線形化の公式は(10)式及び(11)式で表わされるが、ニュートン・ラプソン法と同じようにこの公式を用いて繰り返し演算をすると、真値 $\mathbf{f}(\mathbf{y}(t), t)$ に収束することを最初に述べたように非線形微分方程式を例として説明することとする。

非線形微分方程式を次式で表わす。

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{f}(\mathbf{y}, t) \dots\dots\dots (14)$$

ただし、

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}(t)$$

この右辺に公式の(10)式を適用すると

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{f}(\mathbf{y}^{(0)}, t) + \mathbf{J}(\mathbf{y}^{(0)})(\mathbf{y} - \mathbf{y}^{(0)})$$

これを解いてその解を $\mathbf{y}^{(1)}$ とする。次に $\mathbf{y}^{(1)}$ のまわりに展開して

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{f}(\mathbf{y}^{(1)}, t) + \mathbf{J}(\mathbf{y}^{(1)})(\mathbf{y} - \mathbf{y}^{(1)})$$

となる。これをまた解いてその解を $\mathbf{y}^{(2)}$ とする。

(注4) 当然であるが、(11)式が m 次元なので、 m 個の近似解

$$\mathbf{y}^{(0)}(t) = (y_1^{(0)}(t), y_2^{(0)}(t), \dots, y_m^{(0)}(t))^t$$

を仮定する必要がある。

以上の繰返しを行うことにより、次の関係を得る。

$$\dot{y}^{(n+1)} = f(y^{(n)}, t) + J(y^{(n)})(y^{(n+1)} - y^{(n)}) \dots\dots\dots (15)$$

さて、この近似解列 $\{y^{(n)}(t)\} (n=0, 1, 2, \dots)$ がもとの非線形微分方程式(14)式の解 $y(t)$ に収束することを示す。今、(15)式を積分形で表わすと

$$y^{(n+1)}(t) = \int_0^t [f(y^{(n)}, t) + J(y^{(n)})(y^{(n+1)} - y^{(n)})] dt \dots\dots\dots (16)$$

一方、(14)式より

$$y(t) = \int_0^t f(y, t) dt \dots\dots\dots (17)$$

この(16)、(17)式より次式が成立する。

$$y(t) - y^{(n+1)}(t) = \int_0^t \{f(y, t) - f(y^{(n)}, t) - J(y^{(n)})(y^{(n+1)} - y^{(n)})\} dt \dots\dots\dots (18)$$

一方

$$f(y, t) - f(y^{(n)}, t) = J(y^{(n)})(y - y^{(n)}) + O((y - y^{(n)})^2) \dots\dots\dots (19)$$

ただし、 $O((y - y^{(n)})^2)$ は 2 次以上の微小項を表わす。

であるから、(19)式を(18)式に代入して次式を得る。

$$y(t) - y^{(n+1)}(t) = \int_0^t [J(y^{(n)})(y - y^{(n+1)}) + O((y - y^{(n)})^2)] dt$$

これより t_f を t の上限としてノルムをとると

$$\|y - y^{(n+1)}\| \leq K \cdot t_f \cdot \|y - y^{(n+1)}\| + L \cdot t_f \cdot \|y - y^{(n)}\|^2$$

を満たす $K, L(\text{constant})$ が存在し、次のように変形しうる。

$$\|y - y^{(n+1)}\| \leq \frac{L \cdot t_f}{1 - K \cdot t_f} \cdot \|y - y^{(n)}\|^2 \dots\dots\dots (20)$$

K, L : 定数

(20)式より t_f を十分小さくとると、誤差は 2 次の速さで減少し、収束が早いことが理解される^{(注5),(注6)}。

以下、準線形化による非線形微分方程式(14)式の求解手順を図-2.3 に示す。このとき、(15)式を簡単にするため次のように明確に線形とわかる形で表わしておく。

$$\dot{y}^{(n+1)} = A(t) \cdot y^{(n+1)} - B(t) \dots\dots\dots (21)$$

(注 5) 準線形化による微分方程式の解列は真値に収束することが示されたが、これはニュートン・ラプソン法と同様に最初の近似解 $y^{(0)}$ が収束範囲に設定されることが前提となっている。(このことはヘッシェン・マトリクスが正定値であることにより保証されるが詳細は省く。詳しく知りたい方は、参考文献(1)を参照されたい)

(注 6) 実用的には解列は単調収束することが望まれるが、ここではその詳しい議論は省略する。というのは、後述のように単調収束の条件が厳しく、通常取り扱われる微分方程式においては収束性の保証のみで十分であるからである。

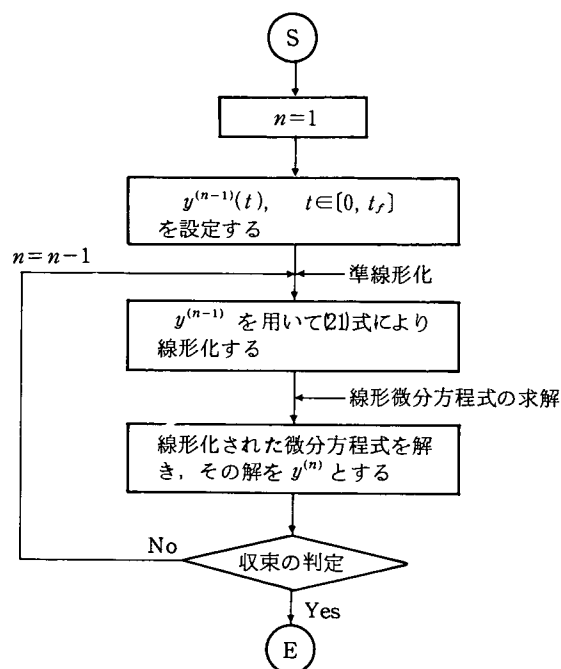


図-2.3 準線形化による非線形微分方程式系の境界値問題の解法フロー

ただし,

$$A(t) = J(y^{(n)})$$

$$B(t) = f(y^{(n)}, t) - J(y^{(n)}) \cdot y^{(n)} \dots\dots\dots (21)'$$

〈単調収束の条件〉

～微分作用素が正定値であること～

〈微分作用素〉

(21)式:

$$\frac{dy^{(n+1)}}{dt} = A(t) \cdot y^{(n+1)} - B(t)$$

において,

$$\left(\frac{d}{dt} - A(t) \right) \dots\dots\dots (22)$$

のことを微分作用素という。

〈微分作用素の正定値〉

$$\begin{cases} \dot{y} \geq A(t) \cdot y, y(0) = C \\ \dot{z} = A(t) \cdot z, z(0) = C \end{cases} \dots\dots\dots (23)$$

のとき

$$y(t) \geq z(t) \dots\dots\dots (24)$$

であること。

この条件は $A(t)=(a_{ij}(t))$ について

$$a_{ij}(t) \geq 0 \quad (i \neq j) \dots \dots \dots (25)$$

であればよい。

このように、 $A(t)$ の要素が常に 0 以上であるという単調収束条件は非常に厳しいものとなっている。

なお、これまでの議論 (収束性 etc) はそのまま多次元の場合に拡張される。すなわち、(21)式は多次元の場合次のように書き換えられることは(11)式及び(13)式より明らかである。

$$\begin{cases} \dot{y}^{(n+1)}(t) = \sum_{j=1}^m A_{1j}^{(n)}(t) \cdot y_j^{(n+1)}(t) - B_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ \dot{y}_i^{(n+1)}(t) = \sum_{j=1}^m A_{ij}^{(n)}(t) \cdot y_j^{(n+1)}(t) - B_i^{(n)}(t) \dots \dots \dots (26) \\ \vdots \\ \dot{y}_m^{(n+1)}(t) = \sum_{j=1}^m A_{mj}^{(n)}(t) \cdot y_j^{(n+1)}(t) - B_m^{(n)}(t) \end{cases}$$

ここで、

$$\begin{cases} A_{ij}^{(n)} = \frac{\partial f_i}{\partial y_j} \Big|_{\mathbf{y} = \mathbf{y}^{(n)}} \\ B_i^{(n)} = f_i(\mathbf{y}^{(n)}, t) - \left(\frac{\partial f_i}{\partial y_1}, \frac{\partial f_i}{\partial y_2}, \dots, \frac{\partial f_i}{\partial y_m} \right) \mathbf{y} = \mathbf{y}^{(n)} \begin{pmatrix} y_1^{(n)}(t) \\ y_2^{(n)}(t) \\ \vdots \\ y_n^{(n)}(t) \end{pmatrix} \dots \dots \dots (27) \end{cases}$$

である。

第3章 準線形化を用いたパラメータ決定問題²⁾

第1章においてタンクモデルのパラメータ決定問題を例示したが、ここではより一般的に次のような例を考える。すなわち、ある未知パラメータ群 $C = (C_{m'+1}, C_{m'+2}, \dots, C_m)$ を介して、現象が次のように記述されたとする。

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = f_1(y, t, C) \\ \dot{y}_2 = f_2(y, t, C) \\ \vdots \\ \dot{y}_{m'} = f_{m'}(y, t, C) \end{cases} \dots\dots\dots (28)$$

ただし、

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_{m'})^t$$

$$C = (C_{m'+1}, C_{m'+2}, \dots, C_m)$$

f_i ; 任意の汎関数

このとき、もし f_i が線形、例えば

$$f_i = C' y + C''$$

C', C'' : 任意の未定常数 $\in C$

のような形であったとしても C もまた(時間的に一定な)変数としてみなすと、(28)式は本質的にどうあれ、ほとんどの場合、形式的に非線形微分方程式である。

そこで、(28)式において、

$$\begin{cases} C_{m'+1} = y_{m'+1} \\ \vdots \\ C_m = y_m \end{cases} \dots\dots\dots (29)$$

と置き換え、準線形化を適用して線形化をはかると、次式が得られる(26)式参照)。

$$\begin{cases} \dot{y}_1^{(n+1)}(t) = \sum_{j=1}^m A_{1j}^{(n)}(t) \cdot y_j^{(n+1)}(t) - B_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ \dot{y}_m^{(n+1)}(t) = \sum_{j=1}^m A_{mj}^{(n)}(t) \cdot y_j^{(n+1)}(t) - B_m^{(n)}(t) \\ \dot{y}_{m'+1}^{(n+1)}(t) = 0 \\ \vdots \\ \dot{y}_m^{(n+1)}(t) = 0 \end{cases} \dots\dots\dots (30)$$

すなわち、(30)式を解くことで $y_{m'+1}(t) \sim y_m(t)$ が求まるが、これらは時間的に一定値であることから結局パラメータ推定問題は(30)式の初期値決定問題として規定される。

すなわち、(28)式において式の順序はいつでもよいので、 y_1 から y_s まで時系列データ群：

$$y_{data} = (y_1, data(t), y_2, data(t), \dots, y_s, data(t)) \quad (1 \leq s \leq m')$$

があるとする。このとき、これらのデータと計算値との誤差を最小にするような C すなわち $(C_{m'+1}, C_{m'+2},$

..., C_m)を求めるという問題が、準線形化を適用することにより、データと計算値との誤差最小という評価基準のもとでの最適初期値決定問題として定式化することができるのである。

この初期値決定問題への交換は、準線形化の公式により(30)式のように扱う方程式が線形化されたとき、次に述べる線形微分方程式の解の重ね合わせの原理により、非常に有利になることが理解されよう。

〈重ね合わせの原理〉

次の線形常微分方程式 (m 次元) を考える。

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{y}(t) + \mathbf{B}(t) \dots \dots \dots (31)$$

ただし、

$$\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_m)$$

$$\mathbf{A}(t) = \begin{pmatrix} a_{11}(t), a_{12}(t), \dots, a_{1m}(t) \\ a_{21}(t), a_{22}(t), \dots, a_{2m}(t) \\ \vdots \\ a_{m1}(t), a_{m2}(t), \dots, a_{mm}(t) \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{B}(t) = \begin{pmatrix} b_1(t) \\ b_2(t) \\ \vdots \\ b_m(t) \end{pmatrix}$$

このとき、(31)式の解 $\mathbf{y}$ は次式で与えられる。

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}_p + \mathbf{C} \cdot \mathbf{y}_h \dots \dots \dots (32)$$

ただし、 $\mathbf{y}_p$: 特解すなわち、

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{y}(t) + \mathbf{B}(t)$$

を初期値 $\mathbf{y}_p(0) = \mathbf{C}$ の下で解いたもの

$\mathbf{y}_h$; 一般解すなわち $\mathbf{y}_h = (y_{1h}, y_{2h}, \dots, y_{mh})$ としたとき、 y_{ih} は

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{A}(t) \cdot \mathbf{y}(t)$$

を初期値 $(0, 0, \dots, 1, \dots, 0)^t$ のもとで解いたものである。

$\mathbf{C}$; (30)式の初期値 ($C_1, C_2, \dots, C_m$)

この重ね合わせの原理により、初期値 $\mathbf{C}$ は未定のまま(30)式を積分することが可能となり、例えば次のようなデータとの累積自乗誤差最小という基準を設定することができる。

$$\begin{aligned} E &= \sum_{i=1}^S \sum_{K=0}^L \{y_{i, data}(t_K) - y_i^{(n+1)}(t_K)\}^2 \\ &= \sum_{i=1}^S \sum_{K=0}^L \{y_{i, data}(t_K) - (y_{i,p}^{(n+1)}(t_K) + \sum_{j=1}^m C_j \cdot y_{i,h,j}(t_K))\}^2 \rightarrow \min \dots \dots \dots (33) \end{aligned}$$

ただし,

$$\left. \begin{array}{l} K; \text{時刻 } (0 \leq K \leq l) \\ i; \text{データの存在する変数 } (1 \leq i \leq s) \\ j; \text{一般解の識別 } (1 \leq j \leq m) \end{array} \right\} \text{を表わす}$$

すなわち, $y_{ih,j}$ は一般解のうち $(0, 0, \dots, \underset{j \text{ 番目}}{1}, \dots, 0)^t$ を初期値とした解 $y_{jh} = (y_{ih,1}, y_{ih,2}, \dots, y_{ih,m})$ の i 要素を表わす。

ここで(33)式のような評価基準はパラメータに制約のないとき C_j により偏微分して, その値を 0 として得られる正規方程式:

$$K \cdot C^t = T \dots\dots\dots (34)$$

を解いて簡単に $C^{(n+1)}$ が得られる^(注9)。

ただし,

$$\text{対称行列} \rightarrow K = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,1}^{(n+1)}(t_K))^2, & \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,1}^{(n+1)}(t_K) \cdot y_{ih,2}^{(n+1)}(t_K)), & \dots, & \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,1}^{(n+1)}(t_K) \cdot y_{ih,n}^{(n+1)}(t_K)) \\ \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,2}^{(n+1)}(t_K) \cdot y_{ih,1}^{(n+1)}(t_K)), & \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,2}^{(n+1)}(t_K))^2, & \dots, & \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,2}^{(n+1)}(t_K) \cdot y_{ih,n}^{(n+1)}(t_K)) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,m}^{(n+1)}(t_K) \cdot y_{ih,1}^{(n+1)}(t_K)), & \dots\dots\dots, & \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l (y_{ih,m}^{(n+1)}(t_K))^2 \end{pmatrix}$$

$$T = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l \{(y_{i,data}(t_K) - y_{ip}^{(n+1)}(t_K)) \cdot y_{ih,1}^{(n+1)}(t_K)\} \\ \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l \{(y_{i,data}(t_K) - y_{ip}^{(n+1)}(t_K)) \cdot y_{ih,2}^{(n+1)}(t_K)\} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^s \sum_{K=1}^l \{(y_{i,data}(t_K) - y_{ip}^{(n+1)}(t_K)) \cdot y_{ih,m}^{(n+1)}(t_K)\} \end{pmatrix}$$

以上のパラメータ決定フローを図-3.1 に示す。

(注 9) ここではパラメータに制約のない場合を示したが, もし制約条件が付帯するとき, $C^{(n+1)}$ 決定問題は 2 次計画法として規定される。このときは最小自乗法のかわりに, 制約付非線形計画法の適用によりパラメータ決定が可能である。

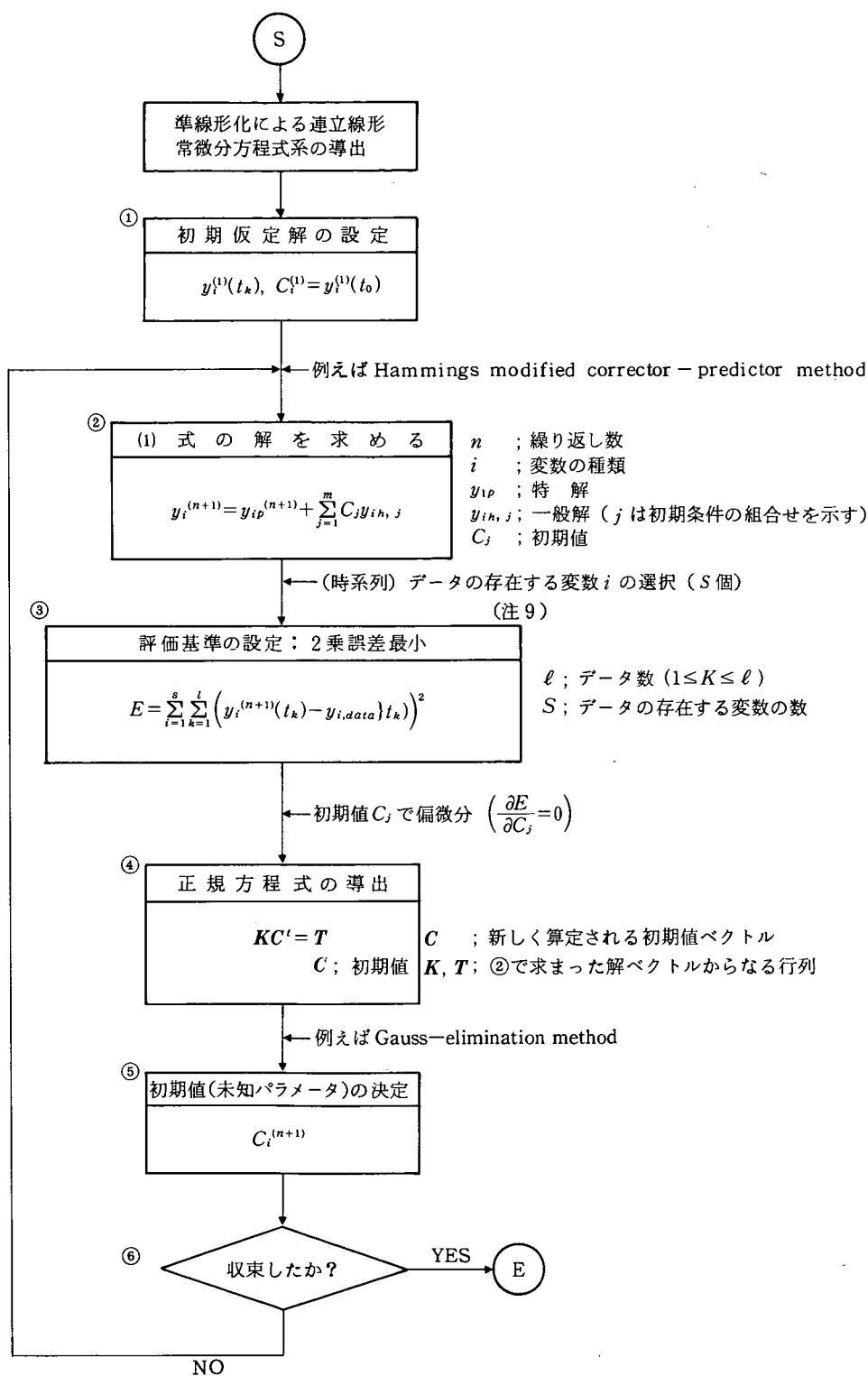


図- 3.1 準線形化を用いたパラメータ決定フロー

第4章 資 料

1. ハミングの予測子・修正子法³⁾

この方法はミルン法の数値的不安定性（打切誤差・丸め誤差の異常な累積が起こりやすい性質）を改良した方法であり、高精度・高速度の常微分方程式の解法として知られている。

すなわち、この方法は予測子・修正子法のうち、ミルン法やアダムス法が予測子と修正子の差が、ある許容範囲になるまで反復計算が必要であるのに対し、このハミング法では計算時間の短縮を考えて反復を行わずに、まず予測子（*predictor*）を求め、これを補正子（*modifier*）を用いて修正子（*corrector*）を求め、この予測子と修正子から直接解を得るようになっている。

まず次式の微分方程式を考える。

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y) \dots\dots\dots (A)$$

このとき、 $y_i (i=0, 1, 2, \dots)$ まで解が得られているとき、 y_{i+1} を求めるには、一端次式により予測子 P_{i+1} を求める。

$$P_{i+1} = y_{i-3} + \frac{4h}{3}(2f_i + f_{i-1} + 2f_{i-2}) \dots\dots\dots (B)$$

h ；離散化単位

次に補正子 m_{i+1} を次式により求める。

$$m_{i+1} = P_{i+1} - \frac{112}{121}(P_i - C_i) \dots\dots\dots (C)$$

さらに補正子を用いて修正子 C_{i+1} を次式により算定する。

$$C_{i+1} = \frac{1}{8}[9y_i - y_{i-2} + 3h(f(x_{i+1}, m_{i+1}) + 2 \cdot f_i - f_{i-1})] \dots\dots\dots (D)$$

結局、最終値 y_{i+1} は予測子と修正子から次式のように決定される。

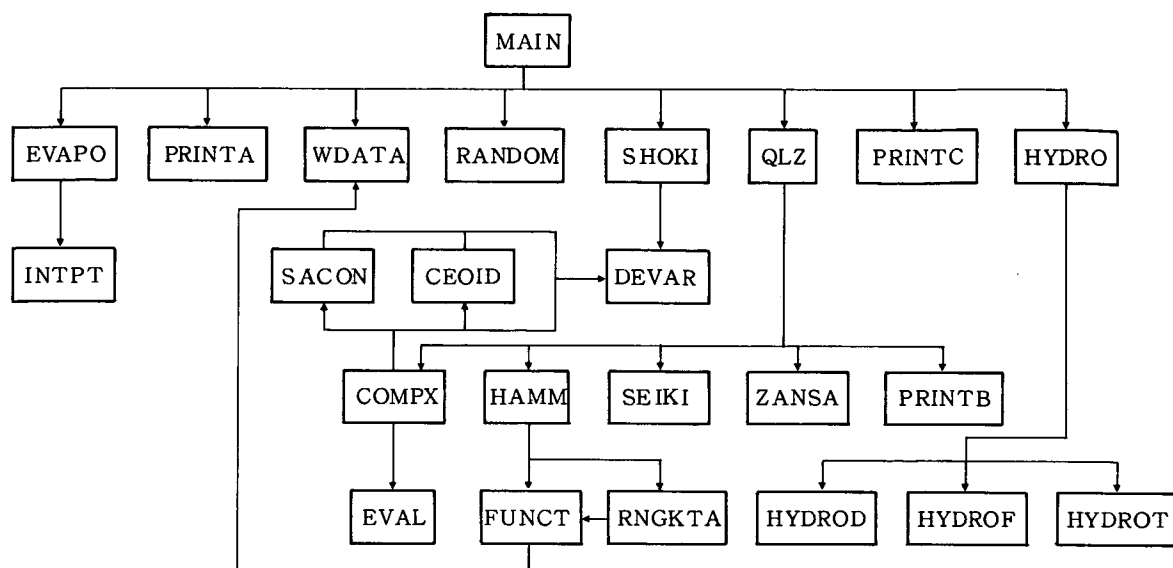
$$y_{i+1} = C_{i+1} + \frac{9}{121}(P_{i+1} - C_{i+1}) \dots\dots\dots (E)$$

このハミング法も他の予測子-修正子法と同様に初期値 y_0 から積分を続けることはできず、ルンゲ=クッタ法等の前進形の公式で出発値 y_1, y_2 を求めておく必要がある。また $i=2$ における補正子は零としておく。

2. 参考文献

- 1) Lee ; Quas: linearization and Imvariant Imbedding, Academic press, ppl~177. 1968.
- 2) Labadie, J. W. and Dracup, J. A. ; Optimal identification of lumped watershed models, Water Resources Res., vol. 5, no.3, pp. 583-590, 1967.
- 3) Haming, R. W. : Stable predictor-corrector methods for ordinary differential equations, J. Assoc. Comp. March, 6, pp. 37-47, 1959.

付録 A.2 プログラムの構成と内容^{*})



^{*}) 本プログラムにおいては、水量モデルと水質モデルのプログラムは基本的には同一のものであるため、ここでは水量モデルのモデル・パラメータ決定プログラムを紹介する。なお、本プログラムを用いて水質モデルのモデル・パラメータ値を求めたい場合には、入力データの若干の変更(例えばモデル・パラメータ数、観測水文データなど)を行うとともに、サブルーチン FUNCT の中で常微分方程式を線形近似した式を水量モデルのものから水質モデルのものへと書き換えてやるだけでよい。

サブルーチン副プログラム	内 容
EVAPO	ハーマン式により蒸発散能を求める
INTPT	可照時間，飽和絶対湿度の計算
PRINTA	制約条件及び水文データの LP 出力
WDATA	水文データを積分時間間隔（0.5 日）に補正を行う
RANDOM	一様乱数を発生させる
SHOKI	制約条件式のチェックを行う
DEVAR	制約条件式の定議を行う
QLZ	モデル同定を行う（収束，発散，振動の判定）
HAMM	ハミングの予測子・修正子法により常微分方程式の数値積分
FUNCT	準線形化手法により常微分方程式の線形近似
RNGKTA	ルンゲ・クッタ法により積分の出発値を求める
SEIKI	評価関数に与える目的関数の設定
COMPX	評価関数を最小とするモデル・パラメータ値を求める
SACON	モデル・パラメータ値が制約条件を満たすかどうかをチェックする
CEOID	モデル・パラメータ値が制約領域内にあるかどうかをチェックする
ZANSA	同定誤差関数の計算
PRINTB	モデル同定の途中経過の LP 出力
PRINTC	最終同定結果の LP 出力
HYDRO	同定結果におけるハイドログラフを XY プロッターに出力
HYDROD	ハイドログラフの初期条件の入力及び設定
HYDROF	ハイドログラフの X 軸及び Y 軸の出力
HYDROT	ハイドログラフのタイトルの出力
関 数 副 プ ロ グ ラ ム	内 容
EVAL	評価関数の定義を行う

付録 A.3 入力データ，変数名の説明

入力データ	(1)	NOC, LR, ITE N, LI, MDATA MMM, KJK, IPT	NOC LR ITE N LI MDATA MMM KJK IPT	水文データのケース数 計算の上限繰り返し回数 乱数発生に与える初期値の変更回数 モデル・パラメータ個数 乱数初期値 観測項目数 = 1 蒸発散量 = 2 気温（ハーマン式を援用） = 1 タンクモデル = 2 貯留関数モデル = 1 XYプロットを行わない = 2 XYプロットを行う
		(9I5)		
		(例； 14 50 1 6 11.111 3 2 1 2)		
	(2)	ISTOP, DEPS AREA, XY	ISTOP DEPS AREA XY	収束判定基準回数 収束許容誤差範囲 集水面積 (km ²) 河川の緯度
		(I5, 3F10.0)		
		(例； 3 0.05 252.0 35.0)		
	(3)	LOWER(I) UPPER(I)	LOWER(I) UPPER (I)	モデル・パラメータ下限値 モデル・パラメータ上限値 I → 1 ~ N
		(8F10.0)		
	(4)	ITER, LVAR	ITER LVAR	シンプレックスの上限更新回数 制約条件式の個数
		(2I5)		
		(例； 300 1)		
	(5)	LOWER(J) UPPER(J)	LOWER(J) UPPER(J)	制約条件式の下限值 制約条件式の上限值 J → N + 1 ~ N + LVAR
		(8F10.0)		
	(6)	IALPH(I)	IALPH(I)	乱数初期値を変更する変数 I → 1 ~ NOC
		(16I5)		

付録 A.4 プログラム・リスト

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1		C *****	00000100
2		C * WATER QUANTITY MODEL	00000200
3		C * AUTOMATICAL MODEL IDENTIFICATION BY QUASILINEARIZATION	00000300
4		C * DATA(1):RUNOFF(M**3/SEC), DATA(2):RAIN-FALL(MM/DAY)	00000400
5		C * DATA(3):EVAPORATION(MM/DAY)	00000500
6		C *****	00000600
7		C	00000700
8	00001	DIMENSION C(10),S(15),IALPH(20)	00000800
9	00002	COMMON /NEED/MVAR,LVAR,NVAR,ITER	00000900
10	00003	COMMON /SBLK/LOWER(20),UPPER(20),CENTX(10)	00001000
11	00004	COMMON /DDD/IDATE(3,100),DATA(10,100)	00001100
12	00005	COMMON /SOL/YC(10,100),CVAL(10,100)	00001200
13	00006	COMMON /COND/ISTOP,DEPS	00001300
14	00007	DATA EPS/1.0E-6/	00001400
15	00008	REAL LOWER	00001500
16		C*****	00001600
17		C*	00001700
18		C* NOC.....CASE NO KAZU	00001800
19		C* ITE.....RANSU SHOKICHI NO HENKO KAISU	00001900
20		C* LR.....JYOGEN HANPUKU KAISU	00002000
21		C* N.....PARAMETER NO KAZU	00002100
22		C* LI.....RANSU SHOKICHI	00002200
23		C* MDATA...KANSOKU DATA NO KAZU	00002300
24		C* MMM.....(JYOHATSURYO=1,KION=2)	00002400
25		C* KJK.....(TANKU-MODEL=1,CYORYUKANSU-MODEL=2)	00002500
26		C* IPT.....XY-PLOT NO UMU (XY-PLOT=2)	00002600
27		C* AREA...DRAINAGE AREA (KM**2)	00002700
28		C* XY.....ABSOLUTE LOCATION OF RIVAR	00002800
29		C* LOWER...PARAMETER NO KAGEN-CHI	00002900
30		C* UPPER...PARAMETER NO JYOGEN-CHI	00003000
31		C* LVAR...SEIYAKU JYOKEN-SHIKI NO KAZU	00003100
32		C* IALPH...RANSU SHOKICHI O HENKO SURU HENSU	00003200
33		C*	00003300
34		C*****	00003400
35		C ***** SHOKI JYOKEN *****	00003500
36	00009	READ(1,1) NOC,LR,ITE,N,LI,MDATA,MMM,KJK,IPT	00003600
37	00010	READ(1,2) ISTOP,DEPS,AREA,XY	00003700
38	00011	MVAR=N	00003800
39	00012	READ(1,3) (LOWER(L),L=1,N)	00003900
40	00013	READ(1,3) (UPPER(L),L=1,N)	00004000
41	00014	READ(1,1) ITER,LVAR	00004100
42	00015	NVAR=MVAR+LVAR	00004200
43	00016	IF (MVAR.EQ.NVAR) GO TO 100	00004300
44		C ***	00004400
45	00017	DO 10 I=MVAR+1,NVAR	00004500
46	00018	READ(1,3) LOWER(I),UPPER(I)	00004600
47	00019	10 CONTINUE	00004700
48	00020	100 CONTINUE	00004800
49	00021	READ(1,1) (IALPH(I),I=1,NOC)	00004900
50	00022	1 FORMAT(16I5)	00005000
51	00023	2 FORMAT(15,7F10.0)	00005100
52	00024	3 FORMAT(8F10.0)	00005200
53		C ***	00005300
54	00025	DO 1000 NCASE=1,NOC	00005400
55		C ***** SUIMON DATA *****	00005500
56	00026	I=0	00005600
57	00027	110 I=I+1	00005700
58	00028	READ(2,4) (IDATE(K,I),K=1,3),DATA(2,I),DATA(1,I),DATA(3,I)	00005800
59	00029	IF (IDATE(1,I).LE.0) GO TO 115	00005900
60	00030	IF (MMM.LE.1) GO TO 120	00006000
61		C ***** HAMON-SHIKI *****	00006100
62	00031	CALL EVAPO(DATA(3,I),IDATE(2,I),XY,EP)	00006200
63	00032	DATA(3,I)=EP	00006300
64	00033	120 DATA(1,I)=DATA(1,I)*86400./(AREA*10.**3)	00006400
65	00034	GO TO 110	00006500
66	00035	115 KF=I-1	00006600
67	00036	4 FORMAT(3I3,1X,2F8.2,32X,F8.2)	00006700
68		C ***	00006800
69	00037	CALL PRINTA(NCASE,MDATA,KF,KJK,IPT)	00006900
70	00038	CALL WDATA(MDATA,KF)	00007000
71		C ***	00007100
72	00039	DO 2000 IT=1,ITE	00007200
73	00040	IND=LI+IALPH(NCASE)	00007300
74	00041	WRITE(6,600) IT,IND	00007400
75	00042	600 FORMAT(1H0//1H ,130('-'))/1H ,42X,I2,'-TIMES TRIAL , RANSU-S= ',I5,	00007500
76		* /1H ,130('-'))	00007600
77		C ***** SHOKI KATEIKAI NO SET *****	00007700
78	00043	DO 15 I=1,KF	00007800
79	00044	YC(1,I)=DATA(1,I)	00007900
80	00045	YC(2,I)=DATA(1,I)/2.0	00008000
81	00046	15 CONTINUE	00008100
82	00047	KCONT=0	00008200
83	00048	150 CONTINUE	00008300
84	00049	CALL RANDOM(IND,N,C)	00008400
85	00050	DO 20 I=3,N	00008500
86	00051	DO 21 J=1,KF	00008600
87	00052	DL=UPPER(I)-LOWER(I)-2.0*EPS	00008700
88	00053	YC(I,J)=C(I)*DL+LOWER(I)*EPS	00008800
89	00054	21 CONTINUE	00008900
90	00055	20 CONTINUE	00009000
91	00056	CALL SHOKI(JOK)	00009100
92	00057	KCONT=KCONT+1	00009200
93	00058	IF (JOK.EQ.1) GO TO 155	00009300
94	00059	IF (KCONT.GT.LR) GO TO 160	00009400
95	00060	GO TO 150	00009500
96		C	00009600
97	00061	160 CONTINUE	00009700
98	00062	WRITE(6,605)	00009800
99	00063	605 FORMAT(30X,'FEASIBLE REGION NOT FOUND'//)	00009900
100	00064	GO TO 2000	00010000

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
101		C ***	00010100
102	00065	155 CONTINUE	00010200
103	00066	CALL QLZ(N,KF,LR,LRC,KKK,KJK,IND)	00010300
104		C ***	00010400
105	00067	IF (LRC.GE.2) GO TO 2000	00010500
106	00068	CALL PRINTC(N,KF)	00010600
107	00069	IF (IPT.LE.1) GO TO 200	00010700
108		C ***** XY-PLOTTER *****	00010800
109	00070	CALL HYDRO(NCASE,IT,KF)	00010900
110		C	00011000
111	00071	200 CONTINUE	00011100
112	00072	IF (LRC.EQ.1) GO TO 2000	00011200
113	00073	DO 30 I=1,N	00011300
114	00074	S(I)=0.0	00011400
115	00075	30 CONTINUE	00011500
116	00076	DO 31 I=1,N	00011600
117	00077	DO 32 J=1,10	00011700
118	00078	S(I)=S(I)+CVAL(I,KKK-J+1)	00011800
119	00079	32 CONTINUE	00011900
120	00080	S(I)=S(I)/10.0	00012000
121	00081	31 CONTINUE	00012100
122	00082	WRITE(6,610)	00012200
123	00083	WRITE(6,611) ((I,S(I)),I=1,N)	00012300
124	00084	610 FORMAT(1H,30(' '),1H,10X,'MEAN VALUE'/1H,30(' '),//)	00012400
125	00085	611 FORMAT(1H,1X,'C-',I2,'...',E10.3)	00012500
126	00086	2000 CONTINUE	00012600
127	00087	1000 CONTINUE	00012700
128		C ***	00012800
129	00088	IF (IPT.GT.1) CALL PLOTE	00012900
130	00089	STOP	00013000
131	00090	END	00013100

*PROGRAM SIZE 6404(001904) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 90, PROGRAM NAME = MAIN, NOT USED CORE = 1782K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
132	00001	SUBROUTINE PRINTA(NCA,N,KF,KJK,IPT)	00000100
133	00002	DIMENSION SUM(10)	00000200
134	00003	COMMON /NEED/MVAR,LVAR,NVAR,ITER	00000300
135	00004	COMMON /SBLK/LOWER(20),UPPER(20),CENTX(20)	00000400
136	00005	COMMON /DDD/IDATE(3,100),DATA(10,100)	00000500
137	00006	REAL LOWER	00000600
138		C *** INPUT DATA NO LP	00000700
139	00007	IF (NCA.GT.1) WRITE(6,600)	00000800
140	00008	IF (NCA.GT.1) GO TO 100	00000900
141	00009	WRITE(6,601)	00001000
142	00010	IF (KJK.LE.1) WRITE(6,602)	00001100
143	00011	IF (KJK.GT.1) WRITE(6,605)	00001200
144	00012	IF (IPT.GT.1) WRITE(6,606)	00001300
145	00013	DO 10 I=1,NVAR	00001400
146	00014	WRITE(6,610) I,I,LOWER(I),UPPER(I)	00001500
147	00015	10 CONTINUE	00001600
148	00016	100 CONTINUE	00001700
149	00017	WRITE(6,611)	00001800
150	00018	WRITE(6,612)	00001900
151	00019	DO 20 I=1,KF	00002000
152	00020	WRITE(6,620) I,(IDATE(J,I),J=1,3),(DATA(J,I),J=1,N)	00002100
153	00021	20 CONTINUE	00002200
154		C ***	00002300
155	00022	DO 30 J=1,N	00002400
156	00023	SUM(J)=0.0	00002500
157	00024	DO 30 I=1,KF	00002600
158	00025	SUM(J)=SUM(J)+DATA(J,I)	00002700
159	00026	30 CONTINUE	00002800
160	00027	WRITE(6,630) (SUM(J),J=1,N)	00002900
161	00028	RETURN	00003000
162	00029	600 FORMAT(1H1)	00003100
163	00030	601 FORMAT(1H,///,5X,'***** JUN-SENKEI-KA-SYUHO NI YORU SUIRYO MODEL	00003200
164		* NO DOUTEI *****')	00003300
165	00031	602 FORMAT(1H,10X,'CYOKUSETSU RYUSYUTSU MODEL : TANKU MODEL'/)	00003400
166	00032	605 FORMAT(1H,10X,'CYOKUSETSU RYUSYUTSU MODEL : CYORYUKANSU MODEL'/)	00003500
167	00033	606 FORMAT(1H,10X,'XY-PLOT O OKONAU'/)	00003600
168	00034	610 FORMAT(1H,2X,'PARAMETER NO.',I1,' ** X',I1,' LOWER=',F8.3,' UP	00003700
169		*PER=',F8.3)	00003800
170	00035	611 FORMAT(1H,///,12X,'===== DATA LIST =====')	00003900
171	00036	612 FORMAT(1H,2X,'NO.',7X,'DATE',5X,'RUNOFF',3X,'RAINFALL',6X,'EVAPO'	00004000
172		*)	00004100
173	00037	620 FORMAT(1H,2X,I2,3X,3I3,10F11.4)	00004200
174	00038	630 FORMAT(1H,2X,'TOTAL',9X,10F11.4)	00004300
175	00039	END	00004400

*PROGRAM SIZE 2696(000A88) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 39, PROGRAM NAME = PRINTA, NOT USED CORE = 1802K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
176	00001	SUBROUTINE PRINTB(N,MM,CX,Z,KC)	00000100
177	00002	DIMENSION CX(10),Z(10)	00000200
178	00003	WRITE(6,600) MM,(Z(I),I=1,4),(CX(I),I=1,N)	00000300
179	00004	KC=1	00000400
180	00005	DO 10 I=1,N	00000500
181	00006	IF ((CX(I).GT.1.0E+25).OR.(CX(I).LT.-1.0E+25)) KC=0	00000600
182	00007	10 CONTINUE	00000700
183	00008	IF (KC.EQ.0) WRITE(6,601)	00000800
184	00009	RETURN	00000900

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
185	00010	600 FORMAT(1H ,2X,I3,4X,10(1X,E11.4))	00001000
186	00011	601 FORMAT(1H , '***** SHOKICHI *****')	00001100
187	00012	END	00001200

*PROGRAM SIZE 1296(000510) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 12, PROGRAM NAME = PRINTB, NOT USED CORE = 1810K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
188	00001	SUBROUTINE PRINTC(K,KF)	00000100
189	00002	DIMENSION SUM(10)	00000200
190	00003	COMMON /DDD/IDATE(3,100),DATA(10,100)	00000300
191	00004	COMMON /SOL/YC(10,100),CVAL(10,100)	00000400
192		C *** OUTPUT DATA NO LP	00000500
193	00005	WRITE(6,600)	00000600
194	00006	WRITE(6,601) (I,I=1,K)	00000700
195	00007	DO 10 I=1,KF	00000800
196	00008	WRITE(6,602) I,DATA(1,I),(YC(J,I),J=1,K)	00000900
197	00009	10 CONTINUE	00001000
198	00010	600 FORMAT(1H ,//,27X,'*** SOLUTION OF O.D.E. ***')	00001100
199	00011	601 FORMAT(1H,16X,'DATA',2X,10(5X,'S-',I2,2X)/)	00001200
200	00012	602 FORMAT(1H ,I10,10F11.4)	00001300
201		C ***	00001400
202	00013	DO 20 J=1,K+1	00001500
203	00014	SUM(J)=0.0	00001600
204	00015	L=J-1	00001700
205	00016	DO 21 I=1,KF	00001800
206	00017	IF (J.GT.1) GO TO 22	00001900
207	00018	SUM(J)=SUM(J)+DATA(1,I)	00002000
208	00019	GO TO 21	00002100
209	00020	22 SUM(J)=SUM(J)+YC(L,I)	00002200
210	00021	21 CONTINUE	00002300
211	00022	20 CONTINUE	00002400
212	00023	WRITE(6,610) (SUM(I),I=1,K+1)	00002500
213	00024	610 FORMAT(1H ,5X,'TOTAL',10F11.4)	00002600
214	00025	RETURN	00002700
215	00026	END	00002800

*PROGRAM SIZE 2052(000804) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 26, PROGRAM NAME = PRINTC, NOT USED CORE = 1810K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
216	00001	SUBROUTINE WDATA(ID,KF)	00000100
217	00002	COMMON /DDD/IDATE(3,100),DATA(10,100)	00000200
218	00003	COMMON /WDD/WD(10,200)	00000300
219	00004	DO 10 I=1,ID	00000400
220	00005	DO 11 J=1,KF	00000500
221	00006	JJ=2+(J-1)*1	00000600
222	00007	WD(I,JJ)=DATA(I,J)	00000700
223	00008	IF ((JJ-1).EQ.0) GO TO 11	00000800
224	00009	WD(I,JJ-1)=(WD(I,JJ)+WD(I,JJ-2))/2.0	00000900
225	00010	11 CONTINUE	00001000
226	00011	10 CONTINUE	00001100
227	00012	RETURN	00001200
228	00013	END	00001300

*PROGRAM SIZE 1016(0003F8) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 13, PROGRAM NAME = WDATA, NOT USED CORE = 1814K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
229	00001	SUBROUTINE SHOKI(KK)	00000100
230	00002	COMMON /SBLK/LOWER(20),UPPER(20),CENTX(10)	00000200
231	00003	COMMON /NEED/MVAR,LVAR,NVAR,ITER	00000300
232	00004	COMMON /IBLK/ZN(20)	00000400
233	00005	COMMON /SOL/YC(10,100),CVAL(10,100)	00000500
234	00006	REAL LOWER	00000600
235		C *** SHOKI-CHI NO SET	00000700
236	00007	KK=1	00000800
237	00008	DO 10 I=1,MVAR	00000900
238	00009	ZN(I)=YC(I,1)	00001000
239	00010	10 CONTINUE	00001100
240	00011	IF (MVAR.EQ.NVAR) RETURN	00001200
241		C ***	00001300
242	00012	CALL DEVAR	00001400
243	00013	DO 20 I=MVAR+1,NVAR	00001500
244	00014	IF ((ZN(I).LT.LOWER(I)).OR.(ZN(I).GT.UPPER(I))) KK=2	00001600
245	00015	20 CONTINUE	00001700
246	00016	RETURN	00001800
247	00017	END	00001900

*PROGRAM SIZE 1192(0004A8) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 17, PROGRAM NAME = SHOKI, NOT USED CORE = 1814K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
248	00001	SUBROUTINE RANDOM(IND,N,C)	00000100
249	00002	DIMENSION C(N)	00000200
250		C *** PSEUDO-RANDOM NUMBER INITIATOR	00000300
251	00003	MO=4318	00000400
252	00004	KK=7345	00000500
253	00005	DO 10 I=1,N	00000600
254	00006	NR=KK*IND	00000700
255	00007	NA=NR/MO	00000800
256	00008	IND=NR-NA*MO	00000900
257	00009	C(I)=FLOAT(IND)/FLOAT(MO)	00001000
258	00010	10 CONTINUE	00001100
259	00011	RETURN	00001200
260	00012	END	00001300

*PROGRAM SIZE 828(00033C) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 12, PROGRAM NAME = RANDOM, NOT USED CORE = 1819K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
261	00001	SUBROUTINE DEVAR	00000100
262	00002	COMMON /IBLK/ZN(20)	00000200
263	00003	COMMON /NEED/MVAR,NVAR,ITER	00000300
264		C *** SEIYAKU-SHIKI NO KEISAN	00000400
265	00004	DO 10 J=MVAR+1,NVAR	00000500
266	00005	ZN(J)=ZN(1)-ZN(2)	00000600
267	00006	10 CONTINUE	00000700
268	00007	RETURN	00000800
269	00008	END	00000900

*PROGRAM SIZE 612(000264) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 8, PROGRAM NAME = DEVAR, NOT USED CORE = 1819K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
270	00001	FUNCTION EVAL(X)	00000100
271	00002	DIMENSION X(10)	00000200
272	00003	COMMON /SA/A(10,10),B(10)	00000300
273	00004	COMMON /NEED/M,L,N,IT	00000400
274		C *** GOSA KANSU NO TEIGI	00000500
275	00005	EVAL=0.0	00000600
276	00006	DO 10 I=1,M	00000700
277	00007	DO 11 J=1,M	00000800
278	00008	EVAL=EVAL+X(I)*X(J)*A(I,J)	00000900
279	00009	11 CONTINUE	00001000
280	00010	EVAL=EVAL-2.0*X(I)*B(I)	00001100
281	00011	10 CONTINUE	00001200
282	00012	EVAL=-EVAL	00001300
283	00013	RETURN	00001400
284	00014	END	00001500

*PROGRAM SIZE 1052(00041C) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 14, PROGRAM NAME = EVAL, NOT USED CORE = 1814K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
285	00001	SUBROUTINE ZANSA(SUM,KF)	00000100
286		C*****	00000200
287		C*	00000300
288		C* SUM(1)...RUISEKI-JIJO-GOSA	00000400
289		C* SUM(2)...OMOMI-TSUKI-RUISEKI-JIJO-GOSA	00000500
290		C* SUM(3)...SOUTAI-GOSA	00000600
291		C* SUM(4)...SOUKAN-KEISU	00000700
292		C*	00000800
293		C*****	00000900
294	00002	DIMENSION SUM(10),SD(10)	00001000
295	00003	COMMON /SOL/Y(10,100),CVAL(10,100)	00001100
296	00004	COMMON /DDD/ID(3,100),X(10,100)	00001200
297		C *** DOUTEI GOSA NO SANSYUTSU	00001300
298	00005	DO 10 I=1,10	00001400
299	00006	SUM(I)=0.0	00001500
300	00007	SD(I)=0.0	00001600
301	00008	10 CONTINUE	00001700
302	00009	DO 20 I=1,KF	00001800
303	00010	SUM(1)=SUM(1)+(X(1,I)-Y(1,I))*(X(1,I)-Y(1,I))	00001900
304	00011	SUM(2)=SUM(2)+(X(1,I)-Y(1,I))*(X(1,I)-Y(1,I))/(X(1,I)*X(1,I))	00002000
305	00012	SUM(3)=SUM(3)+ABS(X(1,I)-Y(1,I))/X(1,I)	00002100
306	00013	SD(1)=SD(1)+X(1,I)	00002200
307	00014	SD(2)=SD(2)+Y(1,I)	00002300
308	00015	20 CONTINUE	00002400
309	00016	SD(1)=SD(1)/FLOAT(KF)	00002500
310	00017	SD(2)=SD(2)/FLOAT(KF)	00002600
311	00018	DO 30 I=1,KF	00002700
312	00019	SD(3)=SD(3)+(X(1,I)-SD(1))*(X(1,I)-SD(1))	00002800
313	00020	SD(4)=SD(4)+(Y(1,I)-SD(2))*(Y(1,I)-SD(2))	00002900
314	00021	SD(5)=SD(5)+(X(1,I)-SD(1))*(Y(1,I)-SD(2))	00003000
315	00022	30 CONTINUE	00003100
316	00023	SUM(4)=SD(5)/SQRT(SD(3)*SD(4))	00003200
317	00024	RETURN	00003300
318	00025	END	00003400

*PROGRAM SIZE 3304(000CE8) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 25, PROGRAM NAME = ZANSA, NOT USED CORE = 1810K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
319	00001	SUBROUTINE FUNCT(F,Y,KIME,N,KJK)	00000100
320	00002	DIMENSION F(10),Y(10),X(10),A(10,10),B(10)	00000200
321	00003	COMMON /WDD/WDATA(10,200)	00000300
322	00004	COMMON /PRESOL/YF(10,200)	00000400
323	00005	COMMON /SPEED/KTIME,EPS	00000500
324	00006	DATA A/100*0.0/,B/10*0.0/	00000600
325		C *** JYOBIBUN-HOUTEISHIKI NO SENKEI-KINJI	00000700
326		C *** JUNSENKEIKA-SYUHD ***	00000800
327		C ***	00000900
328	00007	DO 10 I=1,N	00001000
329	00008	X(I)=YF(I,KTIME)	00001100
330	00009	10 CONTINUE	00001200
331	00010	R=WDATA(2,KTIME)	00001300
332	00011	E=WDATA(3,KTIME)	00001400
333	00012	IF (KJK.GT.1) GO TO 100	00001500
334		C *** TANKU MODEL O ENYO ***	00001600
335	00013	X45=1.0/(X(4)*X(5))	00001700
336	00014	A(1,1)=-X(3)	00001800
337	00015	A(1,2)=R*X(3)*X45+X(3)	00001900
338	00016	A(1,3)=-X(1)+R*X(2)*X45+X(2)	00002000
339	00017	A(1,4)=-R*X(2)*X(3)*X45/X(4)	00002100
340	00018	A(1,5)=-R*X(2)*X(3)*X45/X(5)	00002200
341	00019	A(1,6)=0.0	00002300
342	00020	GO TO 105	00002400
343		C *** CYORYUKANSU MODEL O ENYO ***	00002500
344	00021	100 CONTINUE	00002600
345	00022	P=0.6	00002700
346	00023	XRP=R/(P*X(3)*X(4)*X(5))	00002800
347	00024	XP3=1.0/(P*X(3))	00002900
348	00025	X12=X(1)-X(2)	00003000
349	00026	X1P=1.0	00003100
350	00027	X2P=0.0	00003200
351	00028	XP=0.0	00003300
352	00029	IF (X12.LE.0.001) GO TO 110	00003400
353	00030	X1P=X12*(1.0-P)	00003500
354	00031	X2P=X12*(2.0-P)	00003600
355	00032	XP=X12*(-P)	00003700
356	00033	110 CONTINUE	00003800
357	00034	A(1,1)=(1.0-P)*XRP*X(2)*XP-(2.0-P)*XP3*X1P	00003900
358	00035	A(1,2)=XRP*X1P-XRP*X(2)*(1.0-P)*XP+(2.0-P)*XP3*X1P	00004000
359	00036	A(1,3)=-XRP*X(2)*X1P/X(3)+XP3*X2P/X(3)	00004100
360	00037	A(1,4)=-XRP*X(2)*X1P/X(4)	00004200
361	00038	A(1,5)=-XRP*X(2)*X1P/X(5)	00004300
362	00039	A(1,6)=0.0	00004400
363		C ***	00004500
364	00040	105 CONTINUE	00004600
365	00041	A(2,1)=0.0	00004700
366	00042	A(2,2)=-X(4)-R/X(5)	00004800
367	00043	A(2,3)=0.0	00004900
368	00044	A(2,4)=-X(2)+R-X(6)*E	00005000
369	00045	A(2,5)=R*X(2)/(X(5)*X(5))	00005100
370	00046	A(2,6)=-X(4)*E	00005200
371	00047	DO 15 I=1,N	00005300
372	00048	A(1,I)=A(1,I)+A(2,I)	00005400
373	00049	15 CONTINUE	00005500
374		C ***	00005600
375	00050	DO 20 K1=1,N	00005700
376	00051	SUM=0.0	00005800
377	00052	DO 21 K2=1,N	00005900
378	00053	SUM=SUM+A(K1,K2)*Y(K2)	00006000
379	00054	IF (SUM.GT.1.0E20) SUM=1.0E20	00006100
380	00055	IF (SUM.LT.(-1.0E20)) SUM=-1.0E20	00006200
381	00056	21 CONTINUE	00006300
382	00057	F(K1)=SUM	00006400
383	00058	20 CONTINUE	00006500
384	00059	IF (KIME.EQ.1) GO TO 1000	00006600
385		C *** TOKKAI NI WATASU BIKEISU ***	00006700
386	00060	IF (KJK.GT.1) GO TO 200	00006800
387	00061	B(1)=-X(3)*X(1)+R*X(2)*X(3)*X45+X(2)*X(3)	00006900
388	00062	GO TO 205	00007000
389	00063	200 B(1)=XRP*X(2)*X1P-XP3*X2P	00007100
390	00064	205 B(2)=-X(4)*X(2)-R*X(2)/X(5)+X(4)*R-X(4)*X(6)*E	00007200
391	00065	B(1)=B(1)+B(2)	00007300
392	00066	DO 30 K1=1,N	00007400
393	00067	SUM=0.0	00007500
394	00068	DO 31 K2=1,N	00007600
395	00069	SUM=SUM+A(K1,K2)*X(K2)	00007700
396	00070	31 CONTINUE	00007800
397	00071	F(K1)=F(K1)+B(K1)-SUM	00007900
398	00072	30 CONTINUE	00008000
399		C ***	00008100
400	00073	1000 CONTINUE	00008200
401	00074	DO 40 I=1,N	00008300
402	00075	IF (ABS(F(I)).LE.EPS) F(I)=0.0	00008400
403	00076	40 CONTINUE	00008500
404	00077	RETURN	00008600
405	00078	END	00008700

*PROGRAM SIZE 9724(0025FC) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 78, PROGRAM NAME = FUNCT, NOT USED CORE = 1794K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
406	00001	SUBROUTINE QLZ(N,KF,LR,LRC,KKK,KJK,IND)	00000100
407		C*****	00000200
408		C*	00000300
409		C* KF.....KAISEKI DATA NO KAZU	00000400
410		C* YC.....KEISANCHI NO OUTPUT	00000500
411		C* LRC.....SYUSOKUSEI NO SHIHYO	00000600
412		C* YF.....N-KAIME NO KEISANCHI	00000700
413		C* KIME....(TOKKAI=0,IPPANKAI=1)	00000800
414		C* KAISU...SEKIBUN KAISU	00000900
415		C* ND.....SEKIBUN HENSU NO JIKANTEKI JIGEN	00001000
416		C* DEPS....SYUSOKU KYOYOU HANI	00001100
417		C* ISTOP...SYUSOKU HANTEI KIJUN KAISU	00001200
418		C* H.....SEKIBUN NO JIKAN KANKAKU (DAY)	00001300
419		C*	00001400
420		C*****	00001500
421	00002	DIMENSION YI(10),YG(10,200),SUM(10)	00001600
422	00003	COMMON /YBLK/CX(10),BCX(10)	00001700
423	00004	COMMON /PDF/YY(10,200),YHY(10,10,200)	00001800
424	00005	COMMON /SOL/YC(10,100),CVAL(10,100)	00001900
425	00006	COMMON /PRESOL/YF(10,200)	00002000
426	00007	COMMON /SA/A(10,10),B(10)	00002100
427	00008	COMMON /COND/ISTOP,DEPS	00002200
428	00009	DATA EPS/1.0E-6/	00002300
429		C +-----+	00002400
430		C I LRC=0 : NOT CONVERGE FOR LR'TH ITERATION I	00002500
431		C I LRC=1 : CONVERGE I	00002600
432		C I LRC=2 : DIVERGE I	00002700
433		C +-----+	00002800
434	00010	WRITE(6,600)	00002900
435	00011	WRITE(6,601) (I,I=1,6)	00003000
436	00012	WRITE(6,602) (YC(I,1),I=1,N)	00003100
437	00013	600 FORMAT(1H, '//.27X, '*** VALUE OF PARAMETER ***')	00003200
438	00014	601 FORMAT(1H0, 'ITERATION', 4X, 'RUISEKI', 6X, 'OMOMI ', 5X, 'SOUTAI ', 5X, 'S	00003300
439		*OKUAN ', 6(6X, 'C-', 12, 2X) /)	00003400
440	00015	602 FORMAT(1H, 2X, ' O', 4X, 4(7X, '*' , 4X), 6(1X, E11.4))	00003500
441		C *** SHOKI KATEI-KAI O YF NI IRERU	00003600
442	00016	DO 10 I=1,N	00003700
443	00017	DO 11 J=1,KF	00003800
444	00018	JJ=2*(J-1)+1	00003900
445	00019	YF(I,JJ)=YC(I,J)	00004000
446	00020	IF ((JJ-1).EQ.0) GO TO 11	00004100
447	00021	YF(I,JJ-1)=(YF(I,JJ)+YF(I,JJ-2))/2.0	00004200
448	00022	11 CONTINUE	00004300
449	00023	10 CONTINUE	00004400
450		C *** SHOKICHI O BCX(N,LR=1) NI IRERU	00004500
451	00024	DO 15 I=1,N	00004600
452	00025	BCX(I)=YC(I,1)	00004700
453	00026	CVAL(I,1)=YC(I,1)	00004800
454	00027	15 CONTINUE	00004900
455		C *** IDET , KCON WA SYUSOKUSEI NO SHIHYO	00005000
456	00028	KCON=0	00005100
457	00029	H=0.5	00005200
458	00030	KFF=KF*2-1	00005300
459		C ***** ITERATION NO KAISHI *****	00005400
460	00031	DO 1000 KKK=1,LR	00005500
461	00032	KKL=KKK+1	00005600
462		C *** TOKKAI NO KEISAN ***	00005700
463	00033	KIME=0	00005800
464	00034	KAISU=2*(KF-1)	00005900
465	00035	ND=KAISU+1	00006000
466		C *** SHOKICHI NO SET : YI	00006100
467	00036	DO 16 I=1,N	00006200
468	00037	YI(I)=0.0	00006300
469	00038	16 CONTINUE	00006400
470		C*****	00006500
471		C*** HAMMING NO YOSOKUSHI-SHUSEISHI-HO **	00006600
472		C* SEKIBUN NO SHUSOKU-HANTEI : KLY *	00006700
473		C* KLY=0 : HASSAN... KLY=1 : SYUSOKU *	00006800
474		C*****	00006900
475	00039	KLY=1	00007000
476	00040	CALL HAMM(N,KFF,H,KJK,KLY,KIME,YI,YY)	00007100
477	00041	IF (KLY.EQ.0) GO TO 100	00007200
478	00042	GO TO 105	00007300
479	00043	100 WRITE(6,610)	00007400
480	00044	610 FORMAT(1H, '***TOKKAI***')	00007500
481	00045	GO TO 200	00007600
482		C ***	00007700
483	00046	105 CONTINUE	00007800
484		C *** IPPANKAI NO KEISAN ***	00007900
485		C IJ:SHOKICHI-VECTOR NO CHIGAI O ARAWASU	00008000
486	00047	KIME=1	00008100
487	00048	DO 20 IJ=1,N	00008200
488	00049	DO 21 I=1,N	00008300
489	00050	IF (I.EQ.IJ) YI(I)=1.0	00008400
490	00051	IF (I.NE.IJ) YI(I)=0.0	00008500
491	00052	21 CONTINUE	00008600
492	00053	CALL HAMM(N,KFF,H,KJK,KLY,KIME,YI,YG)	00008700
493	00054	IF (KLY.EQ.0) GO TO 150	00008800
494	00055	GO TO 155	00008900
495	00056	150 WRITE(6,615)	00009000
496	00057	615 FORMAT(1H, '***IPPANKAI***')	00009100
497	00058	GO TO 200	00009200
498		C ***	00009300
499	00059	155 CONTINUE	00009400
500	00060	DO 25 I=1,N	00009500
501	00061	DO 26 J=1,ND	00009600
502	00062	IF (ABS(YG(I,J)).LE.EPS) YG(I,J)=0.0	00009700
503	00063	YHY(I,IJ,J)=YG(I,J)	00009800
504	00064	26 CONTINUE	00009900
505	00065	25 CONTINUE	00010000
506	00066	20 CONTINUE	00010100
507		C *** MOKUTEKI KANSU NO SET ***	00010200

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
508	00067	CALL SEIKI(N,KF,KLY)	00010300
509	00068	IF (KLY.EQ.0) GO TO 200	00010400
510		C*****	00010500
511		C*** COMPLEX HOU NI YORU PARAMETER NO KETTEI **	00010600
512		C* KGC=2 , SEIYAKU-JYOKEN GA ARU *	00010700
513		C*****	00010800
514	00069	CALL COMPLEX(KLY,IND)	00010900
515		C *** HASSAN NO CHECK AND SHOKICHI NO PRINT	00011000
516	00070	IF (KLY.EQ.0) WRITE(6,620)	00011100
517	00071	620 FORMAT(1H,'*** HASSAN AT COMPLEX **')	00011200
518	00072	IF (KLY.EQ.0) GO TO 200	00011300
519	00073	GO TO 210	00011400
520		C ***** HASSAN : ITERATION *****	00011500
521	00074	200 CONTINUE	00011600
522	00075	WRITE(6,625) KKK	00011700
523	00076	625 FORMAT(1H,'HASSAN:ITERATION LIMIT:',IS)	00011800
524	00077	LRC=2	00011900
525	00078	RETURN	00012000
526		C *** YC NO KEISAN ***	00012100
527	00079	210 CONTINUE	00012200
528	00080	DO 30 I=1,N	00012300
529	00081	CVAL(I,KKL)=CX(I)	00012400
530	00082	YI(I)=CX(I)	00012500
531	00083	30 CONTINUE	00012600
532	00084	KIME=0	00012700
533	00085	CALL HAMM(N,KFF,H,KJK,KLY,KIME,YI,YG)	00012800
534	00086	DO 31 I=1,N	00012900
535	00087	DO 32 J=1,KF	00013000
536	00088	JZ=J*2-1	00013100
537	00089	YC(I,J)=YG(I,JZ)	00013200
538	00090	32 CONTINUE	00013300
539	00091	31 CONTINUE	00013400
540		C ***	00013500
541	00092	CALL ZANSA(SUM,KF)	00013600
542	00093	CALL PRINTB(N,KKK,CX,SUM,KLY)	00013700
543	00094	IF (KLY.EQ.0) WRITE(6,630)	00013800
544	00095	630 FORMAT(1H,'*** HASSAN AT INITIAL VALUE **')	00013900
545		C *** FUNCT(F,X,Y) NI WATASU YF(N,K)=N'TH ITERATION NO KEISAN	00014000
546	00096	DO 40 I=1,N	00014100
547	00097	DO 41 J=1,ND	00014200
548	00098	YF(I,J)=YG(I,J)	00014300
549	00099	41 CONTINUE	00014400
550	00100	40 CONTINUE	00014500
551		C *** SHUSOKU-SEI NO HANTEI ***	00014600
552	00101	IDET=0	00014700
553	00102	DO 50 L=1,N	00014800
554	00103	IF (CX(L)-BCX(L)) 300,305,305	00014900
555	00104	300 HAN=BCX(L)-CX(L)	00015000
556	00105	GEN=DEPS*ABS(BCX(L))	00015100
557	00106	IF (HAN.LT.GEN) IDET=IDET+1	00015200
558	00107	GO TO 50	00015300
559	00108	305 HAN=CX(L)-BCX(L)	00015400
560	00109	GEN=DEPS*ABS(CX(L))	00015500
561	00110	IF (HAN.LT.GEN) IDET=IDET+1	00015600
562	00111	50 CONTINUE	00015700
563	00112	IF (IDET.EQ.N) GO TO 310	00015800
564	00113	KCON=0	00015900
565	00114	GO TO 400	00016000
566		C *** SHUSOKU-OK ***	00016100
567	00115	310 LRC=1	00016200
568	00116	KCON=KCON+1	00016300
569	00117	IF (KCON.GE.ISTOP) GO TO 320	00016400
570	00118	GO TO 400	00016500
571	00119	320 CONTINUE	00016600
572	00120	WRITE(6,635) KKK	00016700
573	00121	635 FORMAT(1H,' SYUSOKU OK',5X,'HANPUKU-KAISU=',I4)	00016800
574	00122	RETURN	00016900
575		C *** NOT-CONVERGE ***	00017000
576	00123	400 LRC=0	00017100
577	00124	DO 60 I=1,N	00017200
578	00125	BCX(I)=CX(I)	00017300
579	00126	60 CONTINUE	00017400
580	00127	1000 CONTINUE	00017500
581	00128	IF (LRC.EQ.0) WRITE(6,640)	00017600
582	00129	640 FORMAT(1H,'NOT-CONVERGE')	00017700
583	00130	RETURN	00017800
584	00131	END	00017900

*PROGRAM SIZE 16240(003F70) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 131, PROGRAM NAME = QLZ, NOT USED CORE = 1765K.BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
585	00001	SUBROUTINE SEIKI(N,KF,KLY)	00000100
586	00002	COMMON /POF/YY(10,200),YHY(10,10,200)	00000200
587	00003	COMMON /SA/A(10,10),B(10)	00000300
588	00004	COMMON /DDD/IDATE(3,100),DATA(10,100)	00000400
589	00005	KLY=1	00000500
590	00006	EPS=1.0E20	00000600
591	00007	DO 10 II=1,N	00000700
592	00008	DO 11 JJ=1,N	00000800
593	00009	A(II,JJ)=0.0	00000900
594	00010	DO 12 KK=1,KF	00001000
595	00011	KZ=KK*2-1	00001100
596	00012	A(II,JJ)=A(II,JJ)+YHY(1,II,KZ)*YHY(1,JJ,KZ)	00001200
597	00013	IF (ABS(A(II,JJ)).GT.EPS) GO TO 100	00001300
598	00014	12 CONTINUE	00001400
599	00015	11 CONTINUE	00001500
600	00016	10 CONTINUE	00001600

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
601	00017	DO 20 II=1,N	00001700
602	00018	B(II)=0.0	00001800
603	00019	DO 21 KK=1,KF	00001900
604	00020	KZ=KK*2-1	00002000
605	00021	B(II)=B(II)+(DATA(1,KK)-YY(1,KZ))*YHY(1,II,KZ)	00002100
606	00022	IF(ABS(B(II)).GT.EPS) GO TO 100	00002200
607	00023	21 CONTINUE	00002300
608	00024	20 CONTINUE	00002400
609	00025	GO TO 200	00002500
610		C ***	00002600
611	00026	100 WRITE(6,600)	00002700
612	00027	600 FORMAT(1H,'***SEIKI-HOTEISHIKI***')	00002800
613	00028	KLY=0	00002900
614	00029	200 RETURN	00003000
615	00030	END	00003100

*PROGRAM SIZE 2120(000848) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 30, PROGRAM NAME = SEIKI, NOT USED CORE = 1806K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
616	00001	SUBROUTINE HAMM(M,N,H,KJK,KLY,KIME,Y,YY)	00000100
617	00002	DIMENSION Y(10),YP(10,2),YC(10),Y0(10,4),FF(10,4),F(10)	00000200
618	00003	DIMENSION YY(10,200)	00000300
619	00004	COMMON /SPEED/KTIME, EPS	00000400
620	00005	KTIME=1	00000500
621	00006	EPS=1.0E-6	00000600
622	00007	CALL FUNCT(F,Y,KIME,M,KJK)	00000700
623	00008	DO 10 L=1,M	00000800
624	00009	FF(L,1)=F(L)	00000900
625	00010	Y0(L,1)=Y(L)	00001000
626	00011	YY(L,1)=Y(L)	00001100
627	00012	10 CONTINUE	00001200
628	00013	DO 15 J=2,4	00001300
629	00014	KTIME=J	00001400
630	00015	CALL RNGKTA(M,1,H,Y,KIME,KJK)	00001500
631	00016	CALL FUNCT(F,Y,KIME,M,KJK)	00001600
632	00017	DO 16 L=1,M	00001700
633	00018	FF(L,J)=F(L)	00001800
634	00019	Y0(L,J)=Y(L)	00001900
635	00020	YY(L,J)=Y(L)	00002000
636	00021	16 CONTINUE	00002100
637	00022	15 CONTINUE	00002200
638	00023	DO 20 L=1,M	00002300
639	00024	YP(L,1)=0.0	00002400
640	00025	YC(L)=0.0	00002500
641	00026	20 CONTINUE	00002600
642		C ***	00002700
643	00027	NN=N	00002800
644	00028	DO 30 I=5,NN	00002900
645	00029	KTIME=I	00003000
646	00030	DO 31 L=1,M	00003100
647	00031	Y(L)=Y0(L,1)+(2.0*(FF(L,2)+FF(L,4))-FF(L,3))*4.0*H/3.0	00003200
648	00032	YP(L,2)=Y(L)	00003300
649	00033	Y(L)=Y(L)-(YP(L,1)-YC(L))*112.0/121.0	00003400
650	00034	31 CONTINUE	00003500
651	00035	CALL FUNCT(F,Y,KIME,M,KJK)	00003600
652	00036	DO 32 L=1,M	00003700
653	00037	YC(L)=(9.0*Y0(L,4)-Y0(L,2)+3.0*H*(F(L)+2.0*FF(L,4)-FF(L,3)))/8.0	00003800
654	00038	Y(L)=YC(L)+(YP(L,2)-YC(L))*9.0/121.0	00003900
655	00039	IF(ABS(Y(L)).LE.EPS) Y(L)=0.0	00004000
656	00040	YY(L,I)=Y(L)	00004100
657	00041	IF(Y(L).LT.1.0E20) GO TO 32	00004200
658	00042	KLY=0	00004300
659	00043	RETURN	00004400
660		C ***	00004500
661	00044	32 CONTINUE	00004600
662	00045	CALL FUNCT(F,Y,KIME,M,KJK)	00004700
663	00046	DO 35 L=1,M	00004800
664	00047	YP(L,1)=YP(L,2)	00004900
665	00048	DO 36 J=1,3	00005000
666	00049	Y0(L,J)=Y0(L,J+1)	00005100
667	00050	FF(L,J)=FF(L,J+1)	00005200
668	00051	36 CONTINUE	00005300
669	00052	Y0(L,4)=Y(L)	00005400
670	00053	FF(L,4)=F(L)	00005500
671	00054	35 CONTINUE	00005600
672	00055	30 CONTINUE	00005700
673	00056	RETURN	00005800
674	00057	END	00005900

*PROGRAM SIZE 6420(001914) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 57, PROGRAM NAME = HAMM, NOT USED CORE = 1790K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
675	00001	SUBROUTINE RNGKTA(M,N,H,Y,KIME,KJK)	00000100
676	00002	DIMENSION Y(10),YE(10),Y0(10),F(10),A(5)	00000200
677		C *** RUNGE-KUTTA METHOD ***	00000300
678	00003	A(1)=0.5*H	00000400
679	00004	A(2)=0.5*H	00000500
680	00005	A(3)=H	00000600
681	00006	A(4)=H	00000700
682	00007	A(5)=0.5*H	00000800
683	00008	DO 10 I=1,N	00000900
684	00009	DO 11 L=1,M	00001000

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
685	00010	YD(L)=Y(L)	00001100
686	00011	YE(L)=0.0	00001200
687	00012	11 CONTINUE	00001300
688	00013	DO 15 J=1,4	00001400
689	00014	CALL FUNCT(F,Y,KIME,M,KJK)	00001500
690	00015	DO 16 L=1,M	00001600
691	00016	Y(L)=YD(L)+A(J)*F(L)	00001700
692	00017	YE(L)=YE(L)+A(J+1)*F(L)	00001800
693	00018	16 CONTINUE	00001900
694	00019	15 CONTINUE	00002000
695	00020	DO 20 L=1,M	00002100
696	00021	Y(L)=YE(L)/3.0+YD(L)	00002200
697	00022	20 CONTINUE	00002300
698	00023	10 CONTINUE	00002400
699	00024	RETURN	00002500
700	00025	END	00002600

*PROGRAM SIZE 2572(000A0C) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 25, PROGRAM NAME = RNGKTA, NOT USED CORE = 1806K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
701	00001	SUBROUTINE COMPC(ICK,IA)	00000100
702		C *****	00000200
703		C * COMPLEX METHOD *	00000300
704		C *****	00000400
705	00002	DIMENSION X(10,20),FVAL(20),GFV(10),RR(10)	00000500
706	00003	COMMON /YBLK/YY(10),XB(10)	00000600
707	00004	COMMON /IBLK/ZN(20)	00000700
708	00005	COMMON /NEED/MVAR,LVAR,NVAR,ITER	00000800
709	00006	COMMON /SBLK/LOWER(20),UPPER(20),CENTX(10)	00000900
710	00007	REAL LOWER	00001000
711		C +-----+-----+	00001100
712		C I ITER = ITERATION NO. I	00001200
713		C I MVAR = INDEPENDENT VARIABLE I	00001300
714		C I LVAR = IMPLICIT VARIABLE I	00001400
715		C I NVAR = MVAR+LVAR I	00001500
716		C +-----+-----+	00001600
717	00008	KVERT=2*MVAR	00001700
718	00009	ALPH=1.3	00001800
719	00010	NCOMP=KVERT-1	00001900
720	00011	GCRIT=0.01	00002000
721	00012	ICK=1	00002100
722	00013	NPP=3	00002200
723	00014	IQR=1	00002300
724	00015	NNNK=1	00002400
725	00016	DO 10 I=1,MVAR	00002500
726	00017	YY(I)=XB(I)	00002600
727	00018	10 CONTINUE	00002700
728	00019	DO 11 I=1,MVAR	00002800
729	00020	X(I,1)=YY(I)	00002900
730	00021	11 CONTINUE	00003000
731		C ***	00003100
732	00022	700 CONTINUE	00003200
733	00023	DO 12 I=1,MVAR	00003300
734	00024	ZN(I)=X(I,1)	00003400
735	00025	12 CONTINUE	00003500
736	00026	FVAL(1)=EVAL(ZN)	00003600
737	00027	NUMM=1	00003700
738		C *** INITIAL CONFIGURATION ***	00003800
739	00028	NUMM=NUMM+1	00003900
740	00029	IQR=IQR+1	00004000
741	00030	100 CONTINUE	00004100
742	00031	DO 15 I=1,MVAR	00004200
743	00032	CALL RANDOM(IA,1,RR)	00004300
744	00033	ZN(I)=LOWER(I)+RR(1)*(UPPER(I)-LOWER(I))	00004400
745	00034	15 CONTINUE	00004500
746	00035	IF (MVAR.EQ.NVAR) GO TO 105	00004600
747		C ***	00004700
748	00036	DO 20 I=MVAR+1,NVAR	00004800
749	00037	ZN(I)=0.0	00004900
750	00038	20 CONTINUE	00005000
751	00039	CALL DEVAR	00005100
752	00040	DO 21 KLL=MVAR+1,NVAR	00005200
753	00041	IF (ZN(KLL).LT.LOWER(I)) GO TO 110	00005300
754	00042	IF (ZN(KLL).GT.UPPER(I)) GO TO 110	00005400
755	00043	21 CONTINUE	00005500
756		C	00005600
757	00044	105 CONTINUE	00005700
758	00045	DO 22 I=1,MVAR	00005800
759	00046	X(I,NUMM)=ZN(I)	00005900
760	00047	22 CONTINUE	00006000
761	00048	FVAL(NUMM)=EVAL(ZN)	00006100
762	00049	NUMM=NUMM+1	00006200
763	00050	IQR=IQR+1	00006300
764	00051	IF (NUMM-KVERT) 100,100,150	00006400
765		C	00006500
766	00052	110 CONTINUE	00006600
767	00053	DO 25 I=1,MVAR	00006700
768	00054	CENTX(I)=0.0	00006800
769	00055	25 CONTINUE	00006900
770	00056	NTOT=NUMM-1	00007000
771	00057	DO 30 JA=1,NTOT	00007100
772	00058	DO 31 I=1,MVAR	00007200
773	00059	CENTX(I)=CENTX(I)+X(I,JA)	00007300
774	00060	31 CONTINUE	00007400
775	00061	30 CONTINUE	00007500
776	00062	DO 32 I=1,MVAR	00007600
777	00063	CENTX(I)=CENTX(I)/NTOT	00007700

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
778	00064	32 CONTINUE	00007800
779	00065	CALL CEID(JJK)	00007900
780	00066	IF (JJK.EQ.2) GO TO 710	00008000
781	00067	DO 35 I=1,MVAR	00008100
782	00068	ZN(I)=(CENTX(I)+ZN(I))/2.0	00008200
783	00069	35 CONTINUE	00008300
784	00070	CALL SACON(JJJ1)	00008400
785	00071	GO TO (105,100) ,JJJ1	00008500
786		C *** FUNCTION EVALUATION ***	00008600
787	00072	150 NUMF=1	00008700
788	00073	720 MMM=0	00008800
789	00074	KMIN=1	00008900
790	00075	FMIN=FVAL(KMIN)	00009000
791	00076	DO 36 KB=2,KVERT	00009100
792	00077	IF (FVAL(KB)-FMIN) 155,36,36	00009200
793	00078	155 KMIN=KB	00009300
794	00079	FMIN=FVAL(KB)	00009400
795	00080	36 CONTINUE	00009500
796	00081	LMIN=0	00009600
797	00082	GMIN=1.0E20	00009700
798	00083	DO 40 KE=1,KVERT	00009800
799	00084	IF (KE-KMIN) 160,40,160	00009900
800	00085	160 IF (FVAL(KE)-GMIN) 170,40,40	00010000
801	00086	170 LMIN=KE	00010100
802	00087	GMIN=FVAL(KE)	00010200
803	00088	40 CONTINUE	00010300
804		C*****	00010400
805		C*** REFLECTION **	00010500
806		C* KMIN,FMIN : THE FIRST MINIMUM VALUE VERTEX *	00010600
807		C* GMIN : THE SECOND MINIMUM VERTEX *	00010700
808		C* KMAX,FMAX : THE FIRST MAXIMUM VERTEX *	00010800
809		C*****	00010900
810	00089	730 CONTINUE	00011000
811	00090	DO 45 I=1,MVAR	00011100
812	00091	CENTX(I)=0.0	00011200
813	00092	45 CONTINUE	00011300
814	00093	DO 46 KD=1,KVERT	00011400
815	00094	IF (KD.EQ.KMIN) GO TO 46	00011500
816	00095	DO 47 I=1,MVAR	00011600
817	00096	CENTX(I)=CENTX(I)+X(I,KD)	00011700
818	00097	47 CONTINUE	00011800
819	00098	46 CONTINUE	00011900
820	00099	DO 50 I=1,MVAR	00012000
821	00100	CENTX(I)=CENTX(I)/NCOMP	00012100
822	00101	50 CONTINUE	00012200
823	00102	CALL CEID(JJM)	00012300
824	00103	IF (JJM.EQ.2) GO TO 740	00012400
825	00104	DO 51 I=1,MVAR	00012500
826	00105	ZN(I)=CENTX(I)+ALPH*(CENTX(I)-X(I,KMIN))	00012600
827	00106	51 CONTINUE	00012700
828	00107	CALL SACON(JJJ2)	00012800
829	00108	IF (JJJ2.EQ.2) GO TO 750	00012900
830	00109	VAL=EVAL(ZN)	00013000
831	00110	KKK=1	00013100
832		C ***** (NEW VALUE).LT.(SECOND MINI) *****	00013200
833		C ***** (NEW VALUE).LE.(FIRST MINI) *****	00013300
834	00111	200 CONTINUE	00013400
835	00112	IF (VAL-GMIN) 205,205,760	00013500
836	00113	DO 52 I=1,MVAR	00013600
837	00114	ZN(I)=(CENTX(I)+ZN(I))/2.0	00013700
838	00115	52 CONTINUE	00013800
839	00116	CALL SACON(JJJ3)	00013900
840	00117	IF (JJJ3.EQ.2) GO TO 750	00014000
841	00118	KKK=KKK+1	00014100
842	00119	IF (KKK.GE.15) GO TO 750	00014200
843	00120	VAL=EVAL(ZN)	00014300
844	00121	GO TO 200	00014400
845	00122	750 VALC=EVAL(CENTX)	00014500
846	00123	IF (VALC.LE.GMIN) GO TO 210	00014600
847	00124	DO 55 J=1,MVAR	00014700
848	00125	ZN(J)=CENTX(J)	00014800
849	00126	55 CONTINUE	00014900
850	00127	GO TO 760	00015000
851		C ***	00015100
852	00128	210 CONTINUE	00015200
853		C *** SECOND MIN ***	00015300
854	00129	IF (MMM.NE.0) GO TO 740	00015400
855	00130	MMIN=KMIN	00015500
856	00131	KMIN=LMIN	00015600
857	00132	LMIN=MMIN	00015700
858	00133	HMIN=FMIN	00015800
859	00134	FMIN=GMIN	00015900
860	00135	GMIN=HMIN	00016000
861	00136	MMM=MMM+1	00016100
862	00137	GO TO 730	00016200
863		C ***	00016300
864	00138	710 NN=NTOT	00016400
865	00139	GO TO 250	00016500
866	00140	740 NN=KVERT	00016600
867	00141	250 KMAX=1	00016700
868	00142	FMAX=FVAL(KMAX)	00016800
869	00143	DO 60 J=1,NN	00016900
870	00144	IF (FVAL(J)-FMAX) 60,60,260	00017000
871	00145	260 KMAX=J	00017100
872	00146	FMAX=FVAL(J)	00017200
873	00147	60 CONTINUE	00017300
874	00148	DO 61 I=1,MVAR	00017400
875	00149	X(I,1)=X(I,KMAX)	00017500
876	00150	61 CONTINUE	00017600
877		C *** NEW COMPLEX ***	00017700
878	00151	NNNK=NNNK+1	00017800
879	00152	IF (NNNK.GT.50) GO TO 770	00017900

880	00153	GO TO 700	00018000
881		C ***	00018100
882	00154	760 GVAL=EVAL(ZN)	00018200
883	00155	IF (NUMF-NPP) 270,270,275	00018300
884	00156	270 GFV(NUMF)=GVAL	00018400
885	00157	GO TO 280	00018500
886	00158	275 CONTINUE	00018600
887	00159	NNPP=NPP-1	00018700
888	00160	DO 65 KP=1,NPP	00018800
889	00161	GFV(KP)=GFV(KP+1)	00018900
890	00162	65 CONTINUE	00019000
891	00163	GFV(NPP)=GVAL	00019100
892	00164	280 IF (NUMF.LT.NPP) GO TO 290	00019200
893	00165	JA=1	00019300
894	00166	DO 66 JB=2,NPP	00019400
895	00167	G1=GFV(1)	00019500
896	00168	GG=ABS(G1-GFV(JB))	00019600
897	00169	IF (ABS(G1).GE.1.0) GG=GG/ABS(G1)	00019700
898	00170	IF (GG.LE.GCRIT) JA=JA+1	00019800
899	00171	66 CONTINUE	00019900
900	00172	IF (JA.EQ.NPP) GO TO 300	00020000
901	00173	290 NUMF=NUMF+1	00020100
902	00174	DO 70 I=1,MVAR	00020200
903	00175	X(I,KMIN)=ZN(I)	00020300
904	00176	70 CONTINUE	00020400
905	00177	FVAL(KMIN)=GVAL	00020500
906	00178	NUMM=NUMM+1	00020600
907	00179	IQR=IQR+1	00020700
908	00180	IF (IQR.GT.ITER) GO TO 300	00020800
909	00181	GO TO 720	00020900
910		C ***	00021000
911	00182	300 CONTINUE	00021100
912	00183	KMAX=1	00021200
913	00184	FMAX=FVAL(KMAX)	00021300
914	00185	DO 71 KZ=2,KVERT	00021400
915	00186	IF (FVAL(KZ)-FMAX) 71,71,310	00021500
916	00187	310 KMAX=KZ	00021600
917	00188	FMAX=FVAL(KZ)	00021700
918	00189	71 CONTINUE	00021800
919	00190	770 DO 72 I=1,MVAR	00021900
920	00191	ZN(I)=X(I,KMAX)	00022000
921	00192	72 CONTINUE	00022100
922	00193	IF (NNNK.GT.50) GO TO 320	00022200
923	00194	IF (IQR.GT.ITER) GO TO 320	00022300
924		C *** OPTIMAL SOLUTION ***	00022400
925	00195	GO TO 330	00022500
926	00196	320 WRITE(6,600)	00022600
927	00197	600 FORMAT(1H0,'***CAN NOT GO**')	00022700
928	00198	330 DO 75 I=1,MVAR	00022800
929	00199	YY(I)=ZN(I)	00022900
930	00200	75 CONTINUE	00023000
931	00201	IF (NNNK.GT.50) ICK=0	00023100
932	00202	RETURN	00023200
933	00203	END	00023300

*PROGRAM SIZE 11760(002DF0) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 203, PROGRAM NAME = COMPX, NOT USED CORE = 1741K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
934	00001	SUBROUTINE SACON(JJ)	00000100
935	00002	COMMON /IBLK/ZN(20)	00000200
936	00003	COMMON /SBLK/LOWER(20),UPPER(20),CENTX(10)	00000300
937	00004	COMMON /NEED/MVAR,LVAR,NVAR,ITER	00000400
938	00005	REAL LOWER	00000500
939	00006	EPS=1.0E-6	00000600
940	00007	JJ=1	00000700
941	00008	KK=1	00000800
942	00009	DO 10 I=1,MVAR	00000900
943	00010	IF ((ZN(I).LT.LOWER(I)).OR.(ZN(I).GT.UPPER(I))) JJ=2	00001000
944	00011	10 CONTINUE	00001100
945		C	00001200
946	00012	200 CONTINUE	00001300
947	00013	DO 20 I=1,MVAR	00001400
948	00014	IF (ZN(I).LT.LOWER(I)) ZN(I)=LOWER(I)+EPS	00001500
949	00015	IF (ZN(I).GT.UPPER(I)) ZN(I)=UPPER(I)-EPS	00001600
950	00016	20 CONTINUE	00001700
951	00017	IF (MVAR.EQ.NVAR) GO TO 100	00001800
952		C ***	00001900
953	00018	CALL DEVAR	00002000
954	00019	MMVV=MVAR+1	00002100
955	00020	DO 30 KG=MMVV,NVAR	00002200
956	00021	IF (ZN(KG).LT.LOWER(KG)) GO TO 110	00002300
957	00022	IF (ZN(KG).GT.UPPER(KG)) GO TO 110	00002400
958	00023	30 CONTINUE	00002500
959	00024	GO TO 100	00002600
960	00025	110 CONTINUE	00002700
961	00026	DO 40 I=1,MVAR	00002800
962	00027	ZN(I)=(CENTX(I)+ZN(I))/2.0	00002900
963	00028	40 CONTINUE	00003000
964	00029	KK=KK+1	00003100
965	00030	IF (KK.GT.15) GO TO 150	00003200
966	00031	GO TO 200	00003300
967		C	00003400
968	00032	150 JJ=2	00003500
969	00033	100 CONTINUE	00003600
970	00034	RETURN	00003700
971	00035	END	00003800

*PROGRAM SIZE 2256(0008D0) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 35. PROGRAM NAME = SACON. NOT USED CORE = 1810K BYTES
 *NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
972	00001	SUBROUTINE CEID(JJJ)	00000100
973	00002	DIMENSION X(10)	00000200
974	00003	COMMON /IBLK/Z(20)	00000300
975	00004	COMMON /SBLK/LOWER(20),UPPER(20),CENTX(10)	00000400
976	00005	COMMON /NEED/MVAR,LVAR,NVAR,ITER	00000500
977	00006	REAL LOWER	00000600
978	00007	JJJ=1	00000700
979	00008	IF (MVAR.EQ.NVAR) RETURN	00000800
980			00000900
981	00009	C *** DO 10 J=1,MVAR	00001000
982	00010	X(J)=Z(J)	00001100
983	00011	Z(J)=CENTX(J)	00001200
984	00012	10 CONTINUE	00001300
985	00013	CALL DEVAR	00001400
986	00014	MMVV=MVAR+1	00001500
987	00015	DO 20 I=MMVV,NVAR	00001600
988	00016	IF (Z(I).LT.LOWER(I)) GO TO 100	00001700
989	00017	IF (Z(I).GT.UPPER(I)) GO TO 100	00001800
990	00018	20 CONTINUE	00001900
991	00019	GO TO 150	00002000
992			00002100
993	00020	C 100 JJJ=2	00002200
994	00021	150 DO 30 J=1,MVAR	00002300
995	00022	Z(J)=X(J)	00002400
996	00023	30 CONTINUE	00002500
997	00024	RETURN	00002600
998	00025	END	00002700

*PROGRAM SIZE 1584(000630) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 25. PROGRAM NAME = CEID. NOT USED CORE = 1810K BYTES
 *NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
999	00001	SUBROUTINE EVAPO (T,MON,XY,EP)	00000100
1000		C *****	00000200
1001		C * EVAPO-TRANSPIRATION BY HARMON'S FORMULA *	00000300
1002		C *****	00000400
1003	00002	DIMENSION DD(12,12),TD(43),PT(43),XYD(12),C(43)	00000500
1004	00003	DATA XYD/24.0,26.0,28.0,30.0,32.0,34.0,	00000600
1005		1 36.0,38.0,40.0,42.0,44.0,46.0/	00000700
1006	00004	DATA DD/.9,.89,.88,.87,.86,.84,.83,.82,.8,.79,.77,.75,2*.94,.93,	00000800
1007		2 2*.92,.91,.9,.89,.88,.87,.86,4*1,.8*99,2*1.06,2*1.07,2*1.08,	00000900
1008		3 2*1.09,1.1,1.11,2*1.12,1.10,1.11,1.12,1.13,1.14,1.16,1.17,1.18,	00001000
1009		4 1.19,1.21,1.22,1.24,1.13,1.14,1.15,1.17,1.18,1.19,1.21,1.23,1.24,	00001100
1010		5 1.26,1.28,1.3,1.12,1.13,1.14,1.15,1.16,1.18,1.19,1.21,1.22,1.24,	00001200
1011		6 1.26,1.27,2*1.08,1.09,1.1,2*1.11,1.12,1.13,1.14,1.15,1.16,1.17,	00001300
1012		7 2*1.02,5*1.03,4*1.04,1.05,3*.96,2*.95,2*.94,2*.93,2*.92,2*.91,	00001400
1013		8 2*.9,.89,.88,.87,.85,.84,.83,.82,.8,.79,.89,.88,.86,.85,.84,.82,	00001500
1014		9 .81,.79,.78,.76,.74,.72/	00001600
1015	00005	DATA TD/-35.0,-30.0,-25.0,-20.0,-15.0,-10.0,-5.0,0.0,1.0,2.0,	00001700
1016		1 3.0,4.0,5.0,6.0,7.0,8.0,9.0,10.0,11.0,12.0,13.0,14.0,	00001800
1017		2 15.0,16.0,17.0,18.0,19.0,20.0,21.0,22.0,23.0,24.0,25.0,	00001900
1018		3 26.0,27.0,28.0,29.0,30.0,31.0,32.0,33.0,34.0,35.0/	00002000
1019	00006	DATA PT/0.2,0.4,0.7,1.1,1.6,2.3,3.4,4.9,5.2,5.6,6.0,6.4,6.8,7.2,	00002100
1020		1 7.7,8.2,8.8,9.4,10.0,10.6,11.3,12.0,12.7,13.5,14.4,15.3,	00002200
1021		2 16.2,17.1,18.1,19.3,20.4,21.6,22.8,24.1,25.5,27.0,28.5,	00002300
1022		3 30.1,31.7,33.5,35.3,37.2,39.2/	00002400
1023		C ***	00002500
1024	00007	DO 10 I=1,12	00002600
1025	00008	C(I)=DD(I,MON)	00002700
1026	00009	10 CONTINUE	00002800
1027	00010	CALL INTPT(XYD,C,12,XY,DD)	00002900
1028	00011	CALL INTPT(TD,PT,43,T,PP)	00003000
1029	00012	EP=0.14*DD**2*PP	00003100
1030	00013	RETURN	00003200
1031	00014	END	00003300

*PROGRAM SIZE 2276(0008E4) BYTES. SOURCE STATEMENTS = 14. PROGRAM NAME = EVAPO. NOT USED CORE = 1806K BYTES
 *NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1032	00001	SUBROUTINE INTPT(X,Y,L,XP,YP)	00000100
1033	00002	DIMENSION X(1),Y(1)	00000200
1034	00003	LL=L-1	00000300
1035	00004	DO 10 I=1,LL	00000400
1036	00005	IF ((XP.GE.X(I)).AND.(XP.LT.X(I+1))) GO TO 100	00000500
1037	00006	GO TO 10	00000600
1038	00007	100 CONTINUE	00000700
1039	00008	I1=I	00000800
1040	00009	GO TO 150	00000900
1041	00010	10 CONTINUE	00001000
1042	00011	150 CONTINUE	00001100
1043	00012	IF (XP.LT.X(1)) I1=1	00001200
1044	00013	IF (XP.GE.X(L)) I1=L-1	00001300
1045	00014	I2=I1+1	00001400
1046	00015	IF (X(I2).NE.X(I1)) GO TO 200	00001500
1047	00016	YP=Y(I1)	00001600
1048	00017	GO TO 250	00001700
1049	00018	200 CONTINUE	00001800

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1050	00019	RATE=(XP-X(I1))/(X(I2)-X(I1))	00001900
1051	00020	YP=Y(I1)+RATE*(Y(I2)-Y(I1))	00002000
1052	00021	250 CONTINUE	00002100
1053	00022	RETURN	00002200
1054	00023	END	00002300

*PROGRAM SIZE 1768(0006E8) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 23, PROGRAM NAME = INTPT, NOT USED CORE = 1810K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1055	00001	SUBROUTINE HYDRO(I1,I2,KF)	00000100
1056	00002	COMMON /DDD/IDATE(3,100),DATA(10,100)	00000200
1057	00003	COMMON /SQL/YC(10,100),CVAL(10,100)	00000300
1058	00004	COMMON /XYD/XX,XH,YH,QMAX,RMAX,NX,IHYO(40)	00000400
1059		C ***** HYDRO-GRAPH *****	00000500
1060	00005	CALL HYDROD(I1,I2)	00000600
1061	00006	KFF=KF+1	00000700
1062	00007	CALL HYDROF(KFF)	00000800
1063	00008	CALL HYDROT	00000900
1064		C ***	00001000
1065	00009	SH=XH/FLOAT(KFF)	00001100
1066	00010	DO 10 I=1,4	00001200
1067	00011	DO 15 K=1,KF	00001300
1068	00012	X1=FLOAT(K)*XH/FLOAT(KFF)	00001400
1069	00013	IF (I.GT.3) GO TO 100	00001500
1070	00014	L=2	00001600
1071	00015	IF (K.LE.1) L=3	00001700
1072	00016	IF (I.GT.1) GO TO 110	00001800
1073	00017	Y1=DATA(1,K)*YH*2./(3.*QMAX)	00001900
1074	00018	IF (I.LE.1) CALL NEWPEN(1)	00002000
1075	00019	250 CALL PLOT (X1,Y1,L)	00002100
1076	00020	GO TO 150	00002200
1077	00021	110 IF (I.GT.2) GO TO 200	00002300
1078	00022	Y1=YC(1,K)*YH*2./(3.*QMAX)	00002400
1079	00023	GO TO 250	00002500
1080	00024	200 Y1=YC(2,K)*YH*2./(3.*QMAX)	00002600
1081	00025	IF (K.LE.1) GO TO 250	00002700
1082	00026	CALL DASHLP (X1,Y1,1.)	00002800
1083	00027	GO TO 15	00002900
1084	00028	150 CALL NEWPEN(2)	00003000
1085	00029	IF (I.LE.1) CALL SYMBOL (X1,Y1,2.5,1,XX,-1)	00003100
1086	00030	GO TO 15	00003200
1087	00031	100 Y1=DATA(2,K)*YH/(3.*RMAX)	00003300
1088	00032	CALL BAR (X1,YH,180.,Y1,SH,XX,1,0)	00003400
1089	00033	15 CONTINUE	00003500
1090	00034	10 CONTINUE	00003600
1091	00035	RETURN	00003700
1092	00036	END	00003800

*PROGRAM SIZE 2292(0008F4) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 36, PROGRAM NAME = HYDRO, NOT USED CORE = 1806K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1093	00001	SUBROUTINE HYDROD(I1,I2)	00000100
1094	00002	COMMON /XYD/XX,XH,YH,QMAX,RMAX,NX,IHYO(40)	00000200
1095		C *** XY-PLOT SHOKICHI ***	00000300
1096	00003	IF (I2.GT.1) GO TO 100	00000400
1097	00004	READ(1,1) QMAX,RMAX,NX	00000500
1098	00005	READ(1,2) (IHYO(I),I=1,40)	00000600
1099	00006	1 FORMAT(2F10.0,I5)	00000700
1100	00007	2 FORMAT(20I4)	00000800
1101	00008	IF (I1.GT.1) GO TO 100	00000900
1102	00009	XX=0.0	00001000
1103	00010	XH=250.0	00001100
1104	00011	YH=200.0	00001200
1105	00012	CALL PLOTS (1,2,3)	00001300
1106	00013	CALL PLOT (XX,-80.,-3)	00001400
1107	00014	GO TO 200	00001500
1108	00015	100 CALL PLOT (XX,YH+50.,-3)	00001600
1109	00016	200 CONTINUE	00001700
1110		C *** CALL LINE ***	00001800
1111	00017	CALL NEWPEN(2)	00001900
1112	00018	CALL PLDT (XH,XX,2)	00002000
1113	00019	CALL PLDT (XH,YH,2)	00002100
1114	00020	CALL PLOT (XX,YH,2)	00002200
1115	00021	CALL PLOT (XX,XX,2)	00002300
1116	00022	CALL PLOT (-20.,XX,2)	00002400
1117	00023	CALL PLOT (-20.,YH*2./3.,2)	00002500
1118	00024	CALL PLOT (-50.,-50.,3)	00002600
1119	00025	CALL PLOT (XH+10.,-50.,2)	00002700
1120	00026	CALL PLOT (XH+10.,YH+10.,2)	00002800
1121	00027	CALL PLOT (-50.,YH+10.,2)	00002900
1122	00028	CALL PLOT (-50.,-50.,2)	00003000
1123	00029	CALL SYMBOL (XX,YH*2.,1.,'.',XX,1)	00003100
1124	00030	DO 10 I=1,2	00003200
1125	00031	Y1=FLOAT(I)*YH/3.	00003300
1126	00032	CALL PLOT (XX,Y1,3)	00003400
1127	00033	CALL DASHLP (XH,Y1,0.5)	00003500
1128	00034	10 CONTINUE	00003600
1129	00035	RETURN	00003700
1130	00036	END	00003800

*PROGRAM SIZE 2820(000B04) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 36, PROGRAM NAME = HYDROD, NOT USED CORE = 1806K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1131	00001	SUBROUTINE HYDROF(KFF)	00000100
1132	00002	COMMON /XYD/XX,XH,YH,QMAX,RMAX,NX,IHYD(40)	00000200
1133		C *** Y-JIKU ***	00000300
1134	00003	H1=3.0	00000400
1135	00004	DO 10 I=1,5	00000500
1136	00005	S1=FLOAT(I-1)*QMAX/4.	00000600
1137	00006	Y1=FLOAT(I-1)*YH*2./(3.*4.)-H1/2.	00000700
1138	00007	N=1	00000800
1139	00008	IF (S1.LT.10.0) N=2	00000900
1140	00009	CALL NUMBER (-36.,Y1,H1,S1,XX,N)	00001000
1141	00010	10 CONTINUE	00001100
1142	00011	DO 15 I=1,9	00001200
1143	00012	Y2=FLOAT(I-1)*YH*2./(3.*8.)	00001300
1144	00013	CALL PLOT (-20.,Y2,3)	00001400
1145	00014	CALL PLOT (-23.,Y2,2)	00001500
1146	00015	15 CONTINUE	00001600
1147	00016	DO 20 I=1,3	00001700
1148	00017	S2=FLOAT(I-1)*RMAX/2.	00001800
1149	00018	Y3=YH-FLOAT(I-1)*YH/(3.*2.)-H1/2.	00001900
1150	00019	N=0	00002000
1151	00020	IF (S2.LT.100.) N=1	00002100
1152	00021	IF (S2.LT.10.) N=2	00002200
1153	00022	CALL NUMBER (-16.,Y3,H1,S2,XX,N)	00002300
1154	00023	20 CONTINUE	00002400
1155	00024	DO 25 I=1,5	00002500
1156	00025	Y4=YH-FLOAT(I-1)*YH/(3.*4.)	00002600
1157	00026	CALL PLOT (XX,Y4,3)	00002700
1158	00027	CALL PLOT (-3.,Y4,2)	00002800
1159	00028	25 CONTINUE	00002900
1160		C *** X-JIKU ***	00003000
1161	00029	H1=H1+1.	00003100
1162	00030	DO 30 I=1,KFF	00003200
1163	00031	S3=FLOAT(I)	00003300
1164	00032	X1=S3*XH/FLOAT(KFF)	00003400
1165	00033	SH=-2.	00003500
1166	00034	IF (MOD(I,5).EQ.0) SH=-3.	00003600
1167	00035	CALL PLOT (X1,XX,3)	00003700
1168	00036	CALL PLOT (X1,SH,2)	00003800
1169	00037	IF (I.LE.1) GO TO 100	00003900
1170	00038	IF (MOD(I,10).GT.0) GO TO 30	00004000
1171	00039	100 X2=X1-H1*0.85/2.	00004100
1172	00040	IF (I.GE.10) X2=X1-H1*0.85	00004200
1173	00041	CALL NUMBER (X2,-8.,H1,S3,XX,-1)	00004300
1174	00042	30 CONTINUE	00004400
1175	00043	RETURN	00004500
1176	00044	END	00004600

*PROGRAM SIZE 2472(0009A8) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 44, PROGRAM NAME = HYDROF, NOT USED CORE = 1802K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

CARD	ISN	SOURCE STATEMENT	
1177	00001	SUBROUTINE HYDROT	00000100
1178	00002	DIMENSION M1(6),M2(6),M3(7),M4(2)	00000200
1179	00003	COMMON /XYD/XX,XH,YH,QMAX,RMAX,NX,IHYD(40)	00000300
1180	00004	DATA M1/605.9003,3960,9003,3976.9999/	00000400
1181	00005	DATA M2/605.9003,1083.9003,3976.9999/	00000500
1182	00006	DATA M3/431.313,313.403,605.432,9999/	00000600
1183	00007	DATA M4/605.9999/	00000700
1184		C *** TITLE ***	00000800
1185	00008	KH=7	00000900
1186	00009	CALL KANJI (-34.,YH-36.,-KH,6,M1,XX)	00001000
1187	00010	CALL KANJI (-14.,YH-36.,-KH,6,M2,XX)	00001100
1188	00011	CALL KANJI (-41.5,YH-75.,KH-4,7,M3,XX)	00001200
1189	00012	CALL KANJI (-20.5,YH-75.,KH-4,7,M3,XX)	00001300
1190	00013	CALL KANJI (121.,-20.,KH+1,2,M4,XX)	00001400
1191	00014	X1=(XH-FLOAT(NX-1)*1.2*FLOAT(KH))/2.	00001500
1192	00015	CALL KANJI (X1,-40.,KH,NX,IHYD,XX)	00001600
1193	00016	RETURN	00001700
1194	00017	END	00001800

*PROGRAM SIZE 1688(000698) BYTES, SOURCE STATEMENTS = 17, PROGRAM NAME = HYDROT, NOT USED CORE = 1810K BYTES

*NO ERROR IN THIS COMPILATION

*PROGRAM UNITS = 24. NO DIAGNOSTICS GENERATED

付録 A.5 結果出力例 (ラインプリンター)

***** JUN-SENKEI-KA-SYUHOU NI YORU SUIRYO MODEL NO DOUTEI *****
CYOKUSETSU RYUSYUTSU MODEL : TANKU MODEL

PARAMETER NO.1 ** X1 LOWER= 0.500 UPPER= 2.000
PARAMETER NO.2 ** X2 LOWER= 0.400 UPPER= 2.000
PARAMETER NO.3 ** X3 LOWER= 0.200 UPPER= 0.800
PARAMETER NO.4 ** X4 LOWER= 0.001 UPPER= 0.100
PARAMETER NO.5 ** X5 LOWER= 100.000 UPPER=9999.000
PARAMETER NO.6 ** X6 LOWER= 0.100 UPPER= 2.000
PARAMETER NO.7 ** X7 LOWER= 0.0 UPPER= 2.000

===== DATA LIST =====

NO.	DATE	RUNOFF	RAINFALL	EVAP0
1	50 3 14	0.8297	0.0	1.1416
2	50 3 15	0.8297	0.0	1.2404
3	50 3 16	0.6994	0.0	1.1910
4	50 3 17	0.6480	0.0	1.1746
5	50 3 18	0.6309	0.0	1.1499
6	50 3 19	0.6137	5.2000	1.1992
7	50 3 20	0.6480	20.2000	1.4051
8	50 3 21	2.5646	0.7000	1.2239
9	50 3 22	1.5086	0.2000	1.1992
10	50 3 23	1.1966	0.5000	1.1663
11	50 3 24	1.1966	1.1000	1.0291
12	50 3 25	1.1966	0.2000	0.9111
13	50 3 26	1.1589	0.0	1.0634
14	50 3 27	0.8880	0.0	1.1499
15	50 3 28	0.8674	0.0	1.3063
16	50 3 29	0.8400	0.5000	1.4133
17	50 3 30	0.8297	0.2000	1.3886
18	50 3 31	0.8194	0.6000	1.2486
19	50 4 1	0.8297	0.3000	1.2773
20	50 4 2	0.8297	0.6000	1.2278
21	50 4 3	0.8297	0.2000	1.4207
22	50 4 4	0.8091	0.0	1.5987
23	50 4 5	0.7749	20.6000	2.0585
24	50 4 6	3.3806	0.0	2.0700
25	50 4 7	1.2377	6.8000	2.0123
26	50 4 8	2.1051	9.2000	2.0123
27	50 4 9	2.2594	0.0	2.0931
28	50 4 10	1.8583	14.7000	2.3140
29	50 4 11	2.8183	0.0	1.8739
30	50 4 12	2.0914	14.2000	2.0700
31	50 4 13	2.8663	9.7000	2.0585
32	50 4 14	3.9771	0.5000	2.1854
33	50 4 15	3.2023	0.0	2.5958
34	50 4 16	2.6674	25.9000	2.4919
35	50 4 17	5.4857	6.2000	2.1986
36	50 4 18	5.6777	0.0	2.1327
37	50 4 19	4.1623	0.0	2.0585
38	50 4 20	2.7874	3.5000	1.9777
39	50 4 21	6.0960	28.1000	2.0585
40	50 4 22	5.6983	0.0	1.8854
41	50 4 23	4.6286	48.0000	1.8278
42	50 4 24	16.3851	0.0	1.8970
43	50 4 25	7.7589	0.0	2.3288
44	50 4 26	4.0869	1.3000	2.6106
45	50 4 27	3.5794	0.4000	2.6996
46	50 4 28	2.9417	0.4000	2.6996
47	50 4 29	2.9280	17.1000	2.8512
48	50 4 30	3.4217	0.0	2.5068
49	50 5 1	2.7566	0.0	3.3442
50	50 5 2	2.2869	7.8000	3.3252
51	50 5 3	2.5714	2.2000	2.8901
52	50 5 4	2.2011	5.0000	3.1808
53	50 5 5	2.4000	0.0	2.8730
54	50 5 6	1.9611	2.2000	2.3865
55	50 5 7	1.5223	0.0	2.5994
56	50 5 8	1.5669	0.2000	3.0098
57	50 5 9	1.5909	4.2000	3.0782
58	50 5 10	1.4331	0.0	3.0953
59	50 5 11	1.3440	0.0	2.8388
60	50 5 12	1.4674	0.0	3.1295
TOTAL		149.2420	258.6997	120.4450

1-TIMES TRIAL , RANSU-S= 33333

*** VALUE OF PARAMETER ***

ITERATION	RUISEKI	OMOMI	SOUTAI	SOUKAN	C- 1	C- 2	C- 3	C- 4	C- 5	C- 6
0	*	*	*	*	0.8297E+00	0.4149E+00	0.5467E+00	0.5197E-02	0.2936E+04	0.4049E+00
1	0.1026E+03	0.6174E+01	0.1532E+02	0.9259E+00	0.9334E+00	0.8241E+00	0.5220E+00	0.1001E-02	0.1003E+03	0.6085E+00
2	0.2958E+04	0.1120E+04	0.1474E+03	-0.4218E+00	0.9507E+00	0.8564E+00	0.5324E+00	0.1309E-02	0.1383E+03	0.5805E+00
3	0.2850E+03	0.3087E+02	0.3151E+02	0.8795E+00	0.1008E+01	0.8895E+00	0.5553E+00	0.1830E-02	0.2428E+03	0.5646E+00
4	0.9871E+02	0.1214E+02	0.2107E+02	0.8633E+00	0.1101E+01	0.9754E+00	0.5744E+00	0.1864E-02	0.5404E+03	0.5941E+00
5	0.1138E+03	0.4005E+02	0.2987E+02	0.8465E+00	0.1253E+01	0.1085E+01	0.5716E+00	0.1472E-02	0.1042E+04	0.5451E+00
6	0.1315E+03	0.3803E+02	0.2804E+02	0.8171E+00	0.1317E+01	0.1113E+01	0.6257E+00	0.2720E-02	0.7555E+03	0.7145E+00
7	0.1046E+03	0.4234E+02	0.3027E+02	0.8587E+00	0.1492E+01	0.1081E+01	0.5420E+00	0.5155E-02	0.1995E+03	0.4730E+00
8	0.1041E+03	0.2387E+02	0.2210E+02	0.8699E+00	0.1379E+01	0.9597E+00	0.4796E+00	0.6164E-02	0.2525E+03	0.6864E+00
9	0.8652E+02	0.2297E+02	0.2175E+02	0.8842E+00	0.1550E+01	0.8610E+00	0.4346E+00	0.6635E-02	0.2911E+03	0.8164E+00
10	0.8544E+02	0.2038E+02	0.1895E+02	0.8787E+00	0.1384E+01	0.8172E+00	0.5538E+00	0.8796E-02	0.2649E+03	0.9793E+00
11	0.8110E+02	0.2330E+02	0.2135E+02	0.8885E+00	0.1497E+01	0.9420E+00	0.4570E+00	0.1073E-01	0.2168E+03	0.9976E+00
12	0.8280E+02	0.2412E+02	0.2186E+02	0.8860E+00	0.1497E+01	0.9420E+00	0.4570E+00	0.1073E-01	0.2168E+03	0.9976E+00
13	0.7383E+02	0.1999E+02	0.2032E+02	0.8946E+00	0.1376E+01	0.9248E+00	0.4626E+00	0.1626E-01	0.1134E+03	0.9123E+00
14	0.7238E+02	0.2010E+02	0.2071E+02	0.8906E+00	0.1345E+01	0.7808E+00	0.4472E+00	0.1498E-01	0.1147E+03	0.1173E+01
15	0.6829E+02	0.1114E+02	0.1778E+02	0.8975E+00	0.1304E+01	0.7397E+00	0.5642E+00	0.2266E-01	0.1157E+03	0.1019E+01
16	0.6681E+02	0.1320E+02	0.1793E+02	0.8986E+00	0.1304E+01	0.7397E+00	0.5642E+00	0.2266E-01	0.1157E+03	0.1019E+01
17	0.6429E+02	0.1150E+02	0.1769E+02	0.9030E+00	0.1329E+01	0.6605E+00	0.5100E+00	0.2369E-01	0.1024E+03	0.1019E+01
18	0.6505E+02	0.1161E+02	0.1776E+02	0.9017E+00	0.1329E+01	0.6605E+00	0.5100E+00	0.2369E-01	0.1024E+03	0.1019E+01
19	0.6505E+02	0.1161E+02	0.1776E+02	0.9017E+00	0.1329E+01	0.6605E+00	0.5100E+00	0.2369E-01	0.1024E+03	0.1019E+01
20	0.6505E+02	0.1161E+02	0.1776E+02	0.9017E+00	0.1329E+01	0.6605E+00	0.5100E+00	0.2369E-01	0.1024E+03	0.1019E+01

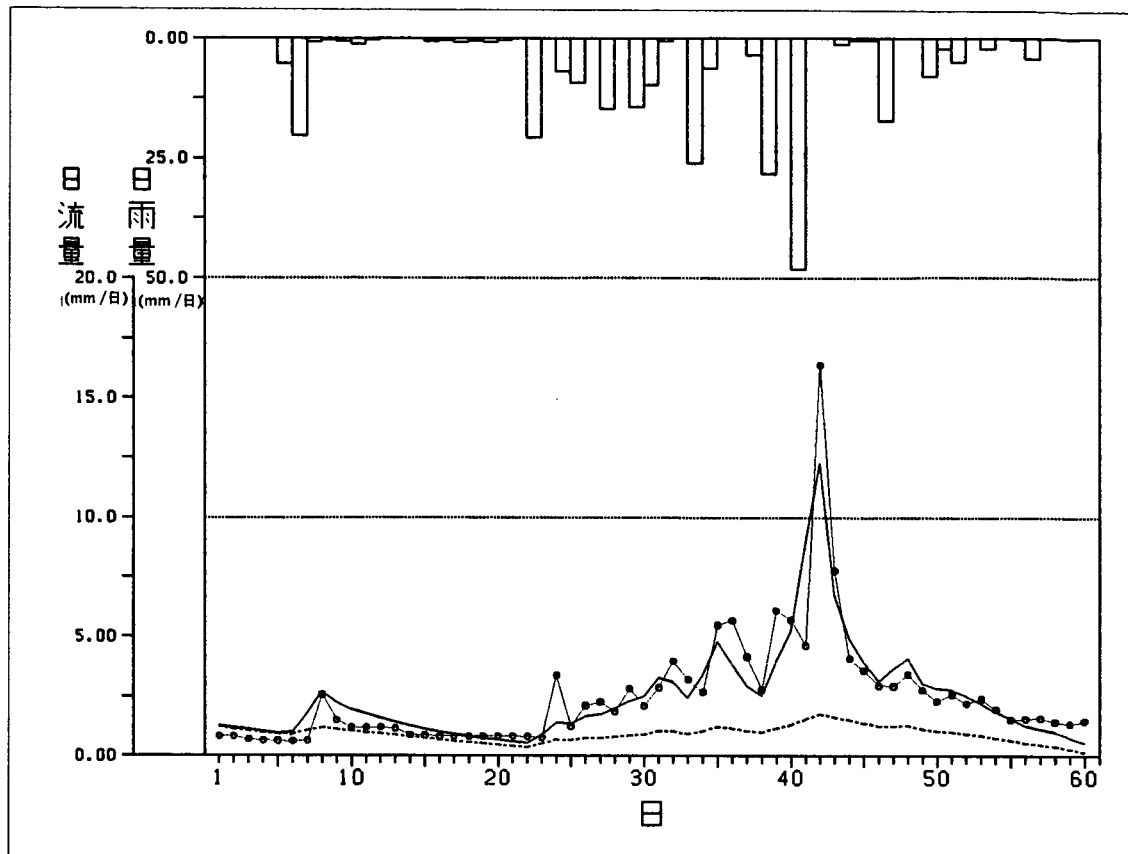
SYUSOKU OK HANPUKU-KAISU= 20

*** SOLUTION OF O.D.E. ***

DATA	S- 1	S- 2	S- 3	S- 4	S- 5	S- 6	S-
1	0.8297	1.3292	0.6605	0.5100	0.0237	102.3687	1.0189
2	0.8297	1.0176	0.6160	0.5100	0.0237	102.3687	1.0189
3	0.6994	0.8140	0.5728	0.5100	0.0237	102.3687	1.0189
4	0.6480	0.6761	0.5312	0.5100	0.0237	102.3686	1.0189
5	0.6309	0.5780	0.4911	0.5100	0.0237	102.3685	1.0189
6	0.6137	0.7722	0.4989	0.5100	0.0237	102.3684	1.0189
7	0.6480	2.1525	0.6783	0.5100	0.0237	102.3684	1.0189
8	2.5646	3.0125	0.8044	0.5100	0.0237	102.3683	1.0189
9	1.5086	2.0516	0.7637	0.5100	0.0237	102.3682	1.0189
10	1.1966	1.5391	0.7222	0.5100	0.0237	102.3682	1.0189
11	1.1966	1.2844	0.6919	0.5100	0.0237	102.3681	1.0189
12	1.1966	1.0927	0.6638	0.5100	0.0237	102.3680	1.0189
13	1.1589	0.8913	0.6264	0.5100	0.0237	102.3680	1.0189
14	0.8880	0.7438	0.5853	0.5100	0.0237	102.3679	1.0189
15	0.8674	0.6376	0.5423	0.5100	0.0237	102.3678	1.0189
16	0.8400	0.5808	0.5017	0.5100	0.0237	102.3677	1.0189
17	0.8297	0.5392	0.4631	0.5100	0.0237	102.3677	1.0189
18	0.8194	0.5031	0.4284	0.5100	0.0237	102.3676	1.0189
19	0.8297	0.4729	0.3971	0.5100	0.0237	102.3675	1.0189
20	0.8297	0.4402	0.3667	0.5100	0.0237	102.3675	1.0189
21	0.8297	0.4021	0.3347	0.5100	0.0237	102.3674	1.0189
22	0.8091	0.3379	0.2929	0.5100	0.0237	102.3673	1.0189
23	0.7749	1.1872	0.4401	0.5100	0.0237	102.3672	1.0189
24	3.3806	1.9404	0.5759	0.5100	0.0237	102.3672	1.0189
25	1.2377	1.6487	0.5725	0.5100	0.0237	102.3671	1.0189
26	2.1051	2.1169	0.6515	0.5100	0.0237	102.3670	1.0189
27	2.2594	2.0577	0.6670	0.5100	0.0237	102.3670	1.0189
28	1.8583	2.4261	0.7170	0.5100	0.0237	102.3669	1.0189
29	2.8183	2.7285	0.7724	0.5100	0.0237	102.3668	1.0189
30	2.0914	2.9221	0.8148	0.5100	0.0237	102.3668	1.0189
31	2.8663	3.9342	0.9285	0.5100	0.0237	102.3667	1.0189
32	3.9771	3.4878	0.9306	0.5100	0.0237	102.3666	1.0189
33	3.2023	2.3897	0.8546	0.5100	0.0237	102.3665	1.0189
34	2.6674	3.9589	0.9566	0.5100	0.0237	102.3665	1.0189
35	5.4857	5.6887	1.0992	0.5100	0.0237	102.3664	1.0189
36	5.6777	4.2338	1.0629	0.5100	0.0237	102.3663	1.0189
37	4.1623	2.8682	0.9867	0.5100	0.0237	102.3663	1.0189
38	2.7874	2.3633	0.9392	0.5100	0.0237	102.3662	1.0189
39	6.0960	4.7230	1.0797	0.5100	0.0237	102.3661	1.0189
40	5.6983	6.0847	1.1855	0.5100	0.0237	102.3661	1.0189
41	4.6286	9.6711	1.3606	0.5100	0.0237	102.3660	1.0189
42	16.3851	12.3489	1.5172	0.5100	0.0237	102.3659	1.0189
43	7.7589	7.4984	1.4338	0.5100	0.0237	102.3658	1.0189
44	4.0869	5.1542	1.3466	0.5100	0.0237	102.3658	1.0189
45	3.5794	3.7672	1.2606	0.5100	0.0237	102.3657	1.0189
46	2.9417	2.7508	1.1713	0.5100	0.0237	102.3656	1.0189
47	2.9280	3.8895	1.1810	0.5100	0.0237	102.3656	1.0189
48	3.4217	4.5470	1.1935	0.5100	0.0237	102.3655	1.0189
49	2.7566	3.0061	1.0959	0.5100	0.0237	102.3654	1.0189
50	2.2869	2.8900	1.0403	0.5100	0.0237	102.3654	1.0189
51	2.5714	2.9930	1.0104	0.5100	0.0237	102.3653	1.0189
52	2.2011	2.7208	0.9639	0.5100	0.0237	102.3652	1.0189
53	2.4000	2.3477	0.9055	0.5100	0.0237	102.3651	1.0189
54	1.9611	1.8463	0.8373	0.5100	0.0237	102.3651	1.0189
55	1.5223	1.5318	0.7758	0.5100	0.0237	102.3650	1.0189
56	1.5669	1.1520	0.6923	0.5100	0.0237	102.3650	1.0189
57	1.5909	1.1623	0.6401	0.5100	0.0237	102.3649	1.0189
58	1.4331	1.1241	0.5892	0.5100	0.0237	102.3648	1.0189
59	1.3440	0.8139	0.5043	0.5100	0.0237	102.3647	1.0189
60	1.4674	0.6066	0.4212	0.5100	0.0237	102.3647	1.0189

TOTAL 149.2420 150.4503 47.4087 30.5986 1.4212 6141.9609 61.1362

付録 A.6 結果出力例 (XY プロッター)



付録B

湖沼流域水量・水質循環モデル

目 次

	頁
第1章 総 説	154
1. 目 的	154
2. モデルの概要	154
3. モデルの適用手順	156
第2章 モデルによる計算手法	158
1. 水量計算手法	158
2. 水質計算手法	163
第3章 基礎調査	168
1. 湖沼調査	168
2. 流域調査	169
第4章 モデルの同定	172
1. モデル適用条件の設定	172
2. 水量水質再現計算	175
第5章 将来予測	179
1. 入力条件の設定	179
2. モデル定数の設定	179
3. 水量水質予測計算	179
第6章 資 料	182
1. その他のモデル例	182
2. 参考文献	184

第1章 総 説

1. 目 的

湖沼の水理水文水質特性と流域の土地利用，水利用，社会経済活動等の関連を水量水質（負荷量）の循環から把握し，湖沼の総合的水管理に資することを目的とする。

（解 説）

① 湖沼水の循環利用や，湖沼を中心とした水利用による湖貯留量（湖水位）の変動は，湖水質及び湖内の生態系に少なからず影響を与えている。一方，水資源として用水を取水，開発したり水環境の保全にあたっては必要な水量と適正な水質を確保，保全しなければならない。

このような観点から本モデルは湖沼の水理水文水質特性と湖沼を中心とした流域の水利用，土地利用，社会経済活動との関連を水量及び水質（負荷量）の循環から把握し，湖沼の水利用及び水環境への既存及び新規の要望に対する水量（利用量と貯留量）と水質の適正な計画と管理に資することを目的とするものである。

② 本モデルの適用により，湖沼流域の水利用（取排水量及び系統），土地利用，社会経済活動の変化が流域（河川及び地下）と湖沼の水量・水質に及ぼす影響を把握できる。

③ 対象とする湖沼，流域の特性上必ずしも本モデルを適用する必要性のない湖沼もあると考えられる。従って対象とする湖沼，流域の特性や求められる水量・水質の内容等を勘案し，本モデルのみならず第6章に示したその他のモデル事例を参考に，最適と考えられるモデルを選択されたい。

2. モデル概要

本モデルは湖沼流域の水循環に基づいて図-1.1 に示す様に水収支モデルと負荷量モデルより構成され，負荷量モデルはCOD，総窒素，総リンの3指標を対象に，水収支モデルから与えられる水量により負荷量，水質濃度レベルを求めるものである。

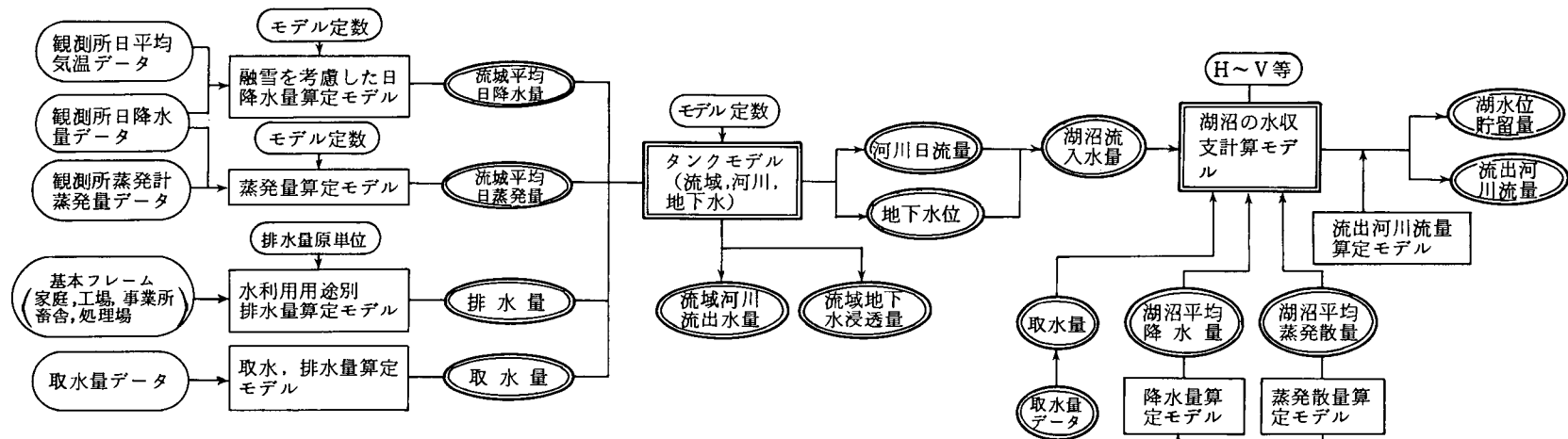
（解 説）

① 水収支モデルは図-1.1 に示す様に，流域の土地利用別水収支・流出モデルと湖沼水収支モデルの2つのメインモデル及びそれらへの入力条件を加工するサブモデルより構成されている。

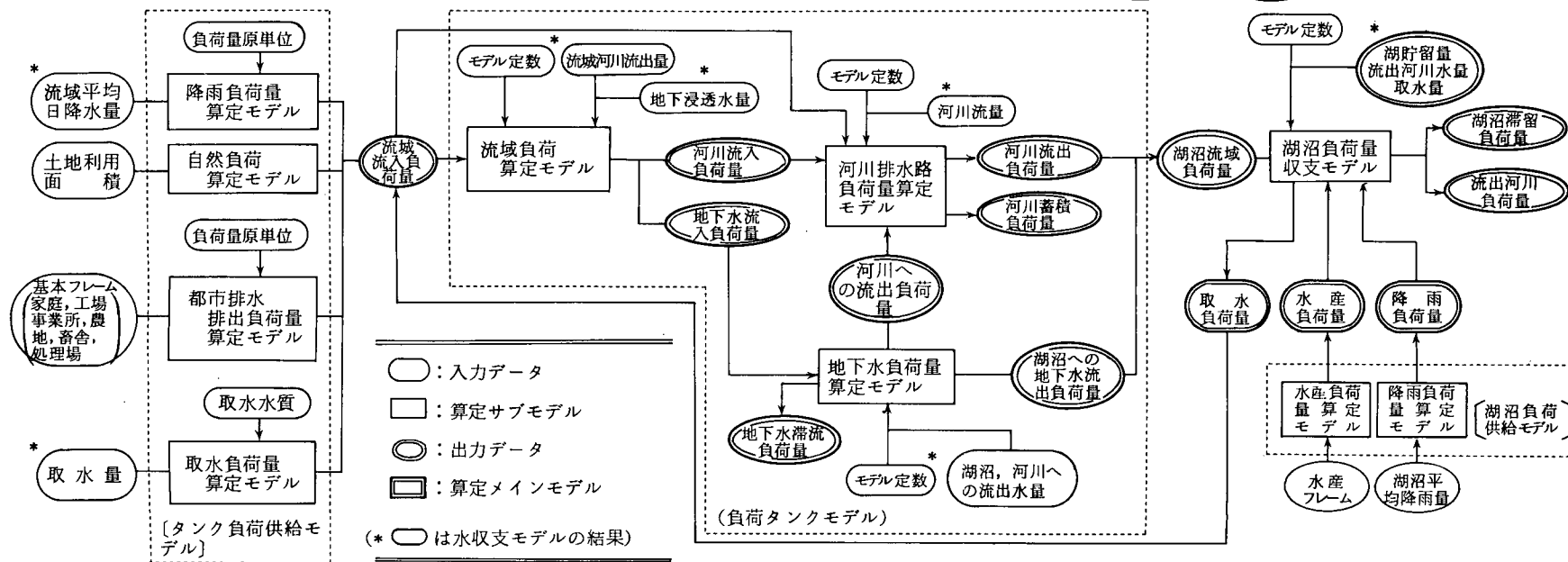
流域の水収支・流出モデルはタンクモデルを基礎とし，流域の土地利用を考慮したタンク配列が可能となっている。

湖沼水収支モデルは連続式により湖水位及び水域間の移動水量を算定する。

サブモデルは観測所降水量及び蒸発量，流域の基本フレーム，取水量，各種モデル定数等の主要入力データと各種補助データを入力して，対象流域や水域の降水量，蒸発量，取水量等をメインモデルへの入力条件



(a) 水収支モデル



(b) 負荷量モデル

図-1.1 モデルの概要

として出力する。

② 負荷量モデルも図-1.1 に示す様に、流域の土地利用別負荷収支・流出モデルと湖沼負荷収支モデルの2つのメインモデル及びそれらへの入力条件を加工するサブモデルより構成されている。

流域の負荷収支・流出モデルは、水収支モデルから与えられた水量により土地利用別に流出負荷量、浸透負荷量及び残存負荷量を算定する。

湖沼負荷収支モデルは、流域（河川、地下）からの流入負荷量、湖面及び湖内からの負荷量、また水収支モデルで得られた湖容量、水域間移動水量より湖滞留負荷量、流出負荷量、取水（還元）負荷量を算定する。

サブモデルは水収支モデルと同様に流域の基本フレームや各種モデル定数等の主要入力データと各種補助データを入力して対象流域や水域への排出負荷量等をメインモデルへの入力条件として出力する。

③ 計算時間単位は日単位である。

3. モデル適用手順

対象とする湖沼とその流域における、水量と水質（負荷量）の循環を把握するための水量水質循環モデルの適用手順は図-1.2 に示すフローの通りとする。

（解 説）

① 水量水質循環モデル適用手順の概要は以下の通りである。

i) 基礎調査

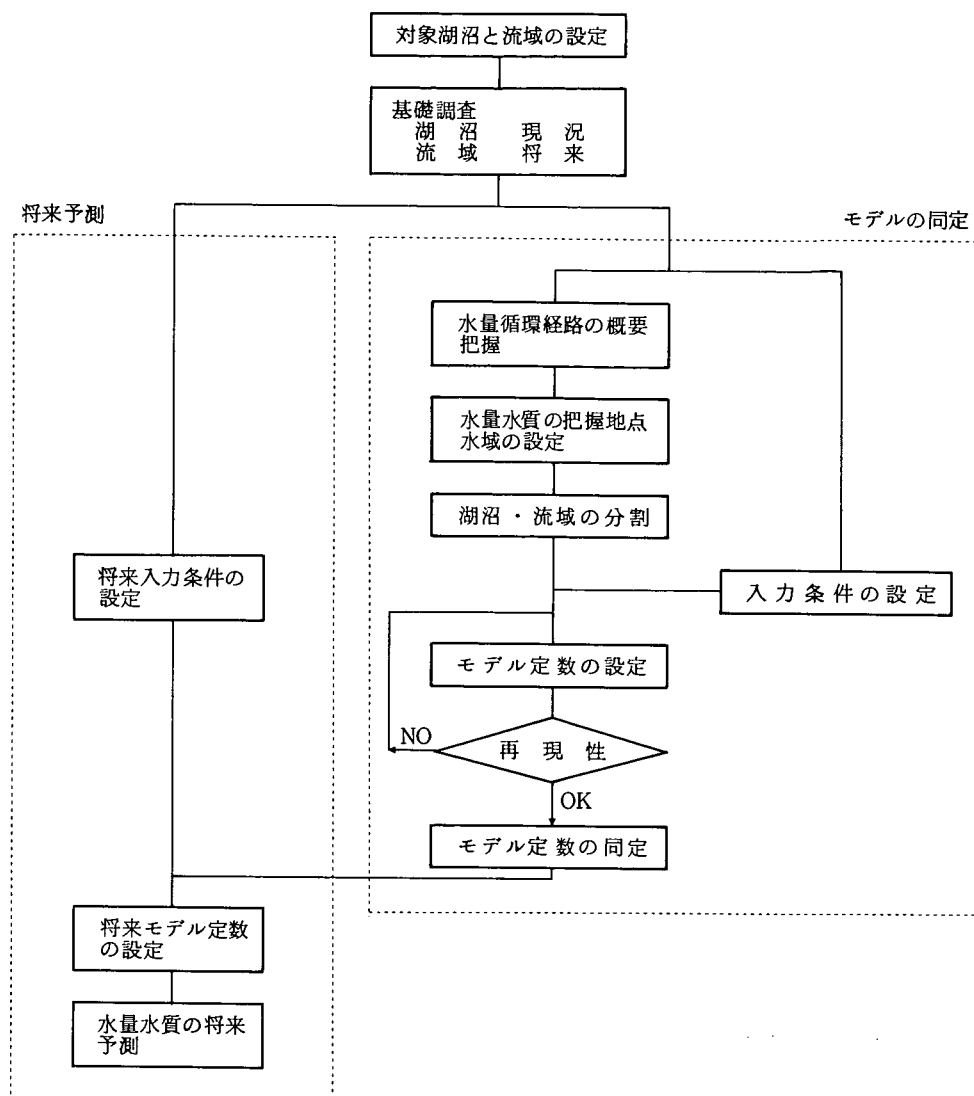
対象とする湖沼及び流域の現況及び将来についてその諸元、水理、水文、水質に関する資料、水利用（取水、排水）状況、また流域については土地利用状況、社会経済活動状況等について整理する。

ii) モデルの同定

基礎調査結果を基に、モデル同定の対象年を設定するとともに水域、流域の分割を行い、入力条件を設定して湖沼、流域の水量水質の再現計算によりモデルの同定を行う。

iii) 将来予測

基礎調査結果及びモデル同定結果を踏まえ、入力条件及びモデル定数を設定し将来の水量水質予測計算を実施する。



図－1.2 水量水質循環モデル適用手順

第2章 モデルによる計算手法

1. 水量計算手法

1.1 流域水収支・流出モデル

流域の水収支・流出モデルはタンクモデルとする。

(解 説)

① タンクモデルは流域をいくつかの貯留型の模型容器（タンク）の組み合わせに置き換えて考える流出計算法であり，流域平均降水量，流域平均蒸発量，排水量，取水量を入力し，タンクモデル定数を与えてタンクからの流出量即ち，流域の河川流入量，地下浸透量，地下水位さらには河川流量，湖沼流入量を算定するものである。

② タンクの構成は分割された対象流域の地形，流出機構を勘案して設定するものとするが，基本的には分割された個々の対象流域ごとに次のタンクを設定する。

表層流出，地下浸透を表現する第1段タンクとして，土地利用状況から山地タンク，水田タンク，市街地その他のタンクを設定するとともに，取水，排水を的確に表現するために排水路河川タンクを設定する。そして中間流出，基底流出を表現する第2，第3タンクとして浅層地下タンク，深層地下タンクを設定し，合計3段のタンク構成とする。図-2.1に3段タンクモデルを示した。

③ 各タンクの水収支は次式で表される（下図参照）。

$$Q_{out} = \left(\sum_{i=1}^3 q_i \right) \times A / 86.4$$

$$Q_{inf} = q_4 \times A / 86.4$$

$$q_i = a_i \times (H - h_i)$$

$$\frac{dH}{dt} = q_{in} - \sum_{i=1}^4 g_i$$

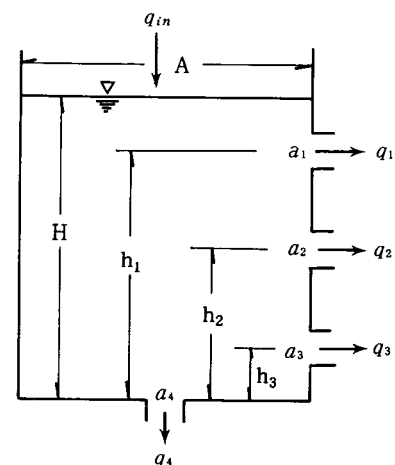
ここに， Q_{out} ；タンクからの流出量 (m^3/s) (流域タンクあるいは地下タンクの場合は，排水路河川タンクへ，また排水路河川タンクの場合は湖沼へ)， Q_{inf} ；下層タンクへの浸透流量 (m^3/s) (深層地下タンクの場合は

は下流深層地下あるいは湖沼へ，また排水路河川タンクの場合は下流浅層地下あるいは湖沼へ)， q_i ；各タンク流出孔からの流出高 (mm/日)， A ；(土地利用別) タンク面積 (km^2)， H ；タンク水位 (mm)， a_i ；流出孔の係数 (無次元)， h_i ；流出孔の高さ (mm)， q_{in} ；タンクへの流入高 (mm/日)

山地タンク，市街地その他のタンクの場合； $R-E$

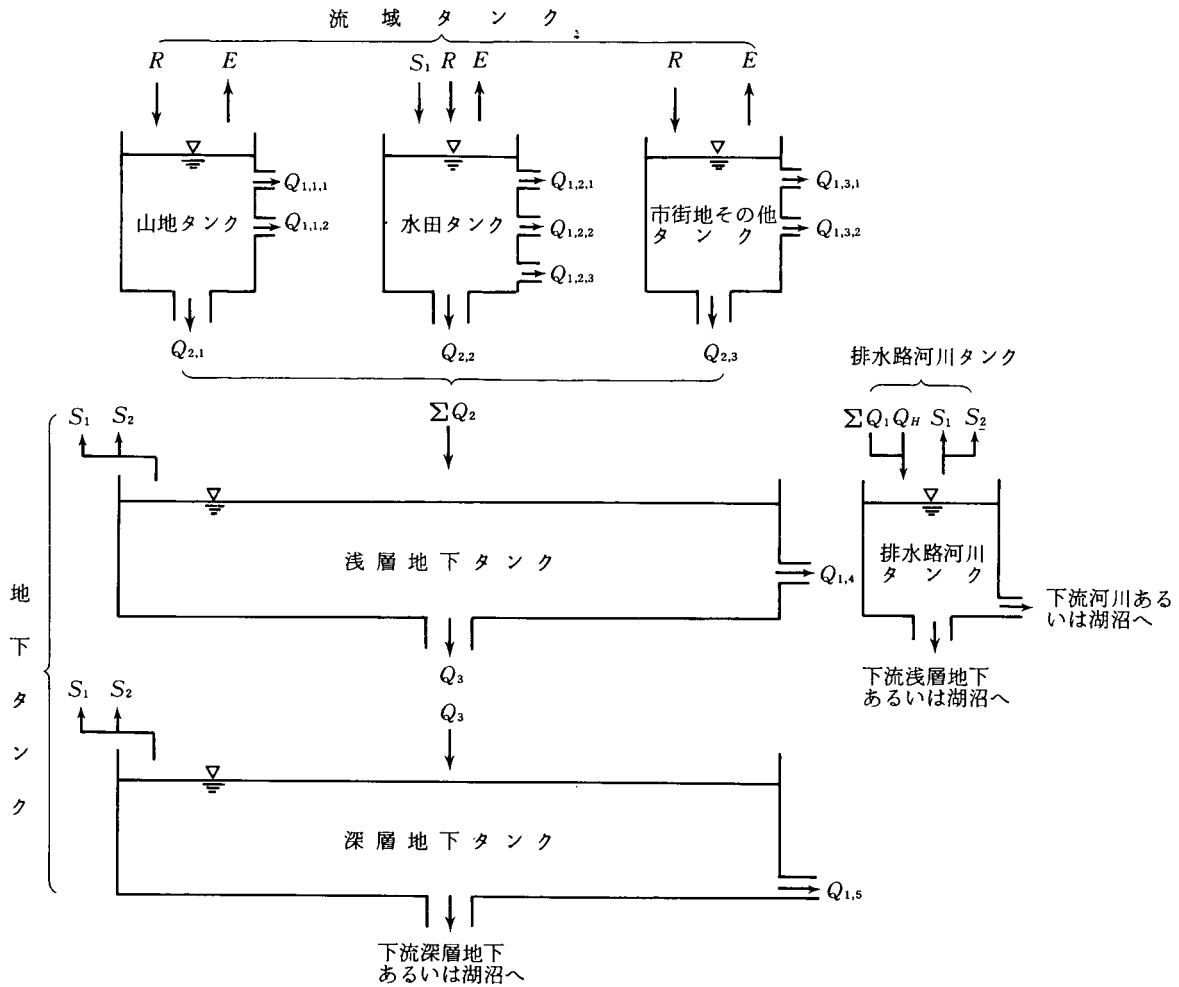
水田タンクの場合； $R-E+S_1/A \times 86.4$

地下タンクの場合； $q'_4-(S_1+S_2)/A \times 86.4$



河川タンクの場合： $\sum Q_{out}$ （流域タンクと地下タンクの合計） $-(S_1+S_2)$

ここに、 R ；降水量 (mm/日)， E ；蒸発量 (mm/日)， S_1 ；農水取水量(m^3/s)， q_1 ；上層タンクからの浸透量 (mm/日)， S_2 ；都市用水取水量(m^2/s)



- R ；降 雨 量
- E ；蒸 発 量
- Q_1 ；各タンクよりの降雨流出量
- Q_2 ；流域より浅層地下浸透量
- Q_3 ；浅層地下より深層地下浸透量
- Q_H ；都市排水量
- S_1 ；農水取水量
- S_2 ；都市用水取水量

図-2.1 3 段タンクモデルの 1 例

1.2 流域水収支・流出サブモデル

流域水収支・流出サブモデルは、流域の日降水量、日蒸発量、水利用用途別排水量、取水量・還元量を算定する。

(解 説)

① 日降水量算定モデル

流域内外の日降水量データから流域平均日降水量を算定する。積雪地域の場合には観測所の日平均気温データを加え積雪・融雪過程を考慮する。

$$R_{ave} = \sum(a_i \times R_i)$$

ここに、 R_{ave} ；流域平均日降水量 (mm/日)、 a_i ；係数 (ティーセン係数、代表係数、単純平均係数)、 R_i ；観測所日降水量 (mm/日)

融雪を考慮する場合は次の通りとする。

$$R_{ave} = \sum R_j$$

$$T < 0 \text{ の時 } R_j = 0, R_s = R_s + R_{jo}$$

$$T \geq 0 \text{ の時 } R_j = R_{jo} + R'_j, R_s = R_s - R'_j, R'_j = m \times T + R_{jo} \times T / 80$$

ここに、 R_j ；区域 (例えば標高) 別平均融雪込降水量 (mm/日)、 R_s ；区域 (例えば標高) 別平均積雪量 (mm/日)、 R'_j ；区域 (例えば標高) 別平均融雪量 (mm/日)、 R_{jo} ；区域 (例えば標高) 別平均降水量 (mm/日)、 T ；区域 (例えば標高) 別平均気温 (°C)、 m ；融雪係数 (mm/日/°C)

② 日蒸発量算定モデル

観測所蒸発計蒸発量データより流域の土地利用別日蒸発量を算定する。

$$E = n \cdot \sum(a_i \cdot E_i)$$

ここに、 E ；土地利用別日蒸発量 (mm/日)、 E_i ；観測所蒸発計蒸発量 (mm/日)、 a_i ；係数 (ティーセン係数、代表係数、単純平均係数)、 n ；蒸発係数 (蒸発計蒸発量から水田、水田以外の地域、湖沼への換算係数)

観測所蒸発計蒸発量が得られず蒸発散能等から推定する場合には降水時の蒸発減少を考慮する。

$$E = n \cdot p \cdot E_m$$

ここに、 E_m ；推定蒸発量 (蒸発散能等)、 p ；降水時の蒸発減少係数

③ 排水量算定モデル

家庭、工場、事業所、畜舎及び処理場等の基本フレーム及び排水量原単位より各日平均排水量を算定する。

$$S = S_1 + S_2$$

$$S_1 = \sum(g_{i1} \times F_{i1})$$

$$S_2 = \sum(g_{i2} \times F_{i2}) \text{ or } \sum(Q_{i2})$$

ここに、 S_1, S_2 ；未処理区域及び処理区域の日平均排水量 (m³/日)、 g_{i1}, g_{i2} ；未処理区域及び処理区域の発生源別排水量原単位 (m³/日/単位)、 F_{i1}, F_{i2} ；未処理区域及び処理区域の発生源別基本フレーム、 Q_{i2} ；処理区域処理水量 (m³/日)

対象とする基本フレーム、排水量原単位は表－2.1の通りとするが流域の特性に応じて変更するものとする。

④ 取水量、還元量算定モデル

取水量データを入力条件として流域、河川、地下水及び湖沼においてそれぞれ取水量と排水量の形態を整理し算定する。整理の様式を表－2.2に示した。

表－2.1 対象基本フレームと排水量原単位

No	排水源	項目	処 理 区			未 処 理 区	
			流 域 内 処 理 区			流 域 外 処 理 区	
1	家 庭	フレーム	流域内処理人口			水 洗 化 人 口	非 水 洗 化 人 口
		原 単 位	1人当たり汚水量			1人当たり汚水量	1人当たり汚水量
2	工 場	フレーム	製造品出荷額（中分類別）				
		原 単 位	業種別出荷額当たり排水量				
3	家 畜	フレーム	飼育頭数（牛と豚）				
		原 単 位	1頭当たり排水量				
4	処 理 場	フレーム	処理水量（1～3とは重複しない）			—	
		原 単 位	—			—	

表－2.2 取水量・排水量整理様式

取 水	流 域		自 流 域			他 流 域			
			1						n
	水 源	河 川	湖 沼	地 下	河 川	湖 沼	地 下		地 下
	上 水 工 水 農 水								
排 水	流 域		自 流 域			他 流 域			
			1						n
	排 出 先	河 川	湖 沼	地 下	河 川	湖 沼	地 下		地 下
	処 理 場 農 水								

1.3 湖沼水収支モデル

湖沼の水収支は次の2つのステップで算定する。

- ① 湖水位の算定
- ② 分割した水域ブロック間の移動水量の算定

（解 説）

① 湖水位の算定

湖沼全域について湖沼流入量、湖面降水量、湖面蒸発量、取水量、湖沼の水位～湖容量関係（H－V関係）及び放流量を入力条件として湖水位を次式で算定する。

$$\frac{dV}{dt} = R - E + Q_{in} - Q_{out} - Q_s$$

$$H = f(V)$$

ここに、 V ；湖容量 (m^3)、 R ；湖面降水量 ($m^3/\text{日}$ ；流量換算値)、 E ；湖面蒸発量 ($m^3/\text{日}$ ；流量換算値)、 Q_{in} ；湖沼流入量 ($m^3/\text{日}$)、 Q_{out} ；湖沼からの流出流量 (放流量) ($m^3/\text{日}$)、 Q_s ；取水量 ($m^3/\text{日}$)、 H ；湖内水位 (m)、 $f(V)$ ；水位～湖容量関係

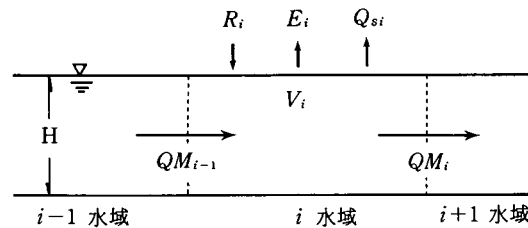
② 水域ブロック間移動水量の算定

各水域ブロックについて流入量、湖面降水量、湖面蒸発量、取水量、水位～湖容量関係及び①で算定した湖水位をあたえて他ブロックへの移動水量を算定する。第 i ブロックの水収支は次式で表される。

$$\frac{dV_i}{dt} = R_i - E_i - Q_{si} + QM_{i-1} - QM_i$$

$$V_i = f_i(H)$$

ここに、 QM_{i-1} ； $i-1$ からの移動量 ($m^3/\text{日}$)、 QM_i ； i 水域からの移動量 ($m^3/\text{日}$)



1.4 湖沼水収支サブモデル

湖沼水収支サブモデルは、湖面の日降水量、日蒸発量及び湖沼からの流出流量を算定するモデルである。

(解 説)

① 湖面の日降水量、日蒸発量算定モデルは流域水収支サブモデルと同様とする。

② 湖沼流出流量 (放流量) 算定モデル

湖沼流出流量 (放流量) 算定モデルは湖水位、湖沼流出量制御ルール (水門の操作ルールや湖沼の流出特性) を与えて湖沼からの流出流量 (放流量) を算定するモデルであり、水位と流入量の関数である。

$$Q_{out} = f(H, Q_{in})$$

ここに、 Q_{out} ；湖沼からの流出流量 (放流量) ($m^3/\text{日}$)、 Q_{in} ；湖流入量 ($m^3/\text{日}$)、 H ；湖水位 (m)、 f ；湖沼流出量制御ルール

2. 水質計算手法

2.1 流域負荷収支・流出モデル

流域負荷収支・流出モデルは流域水収支・流出モデルに対応した「流送能力・供給関数」によるタンクモデルとする。

(解 説)

- ① 流送能力・供給関数は負荷量の流出を流量と残存負荷量の関数として表現するものであり、同時に残存負荷量の収支を算定する。
- ② タンクの構成は流域水収支・流出モデルに対応して、流域の山地タンク、水田タンク、市街地その他のタンク及び排水路河川タンクの各残存負荷タンクと地下の2つのタンクから成る。ただし、地下タンクは滞留負荷タンクである。図-2.2に水収支タンクモデルに対応した負荷タンクモデルを示した。
- ③ 流域タンク（山地、水田、市街地その他の各タンク）の残存負荷量、流出負荷量のうち地表面流出成分（水収支タンクの第1段タンク流出量）に対応する流出負荷量は「流送能力供給関数型」で設定するが、流域から地下への浸透流出成分については一旦地表面下に浸透した後の流出であるため残存負荷量や限界掃流量に関係しないと考え、「流送能力関数型」で設定する。

$$\frac{dS_1}{dt} = L_{in} - (L_{out} + L_{inf}) \times 86,400 - KS_1$$

$$L_{in} = LR + LN + LK$$

$$L_{out} = a \cdot S_1^b \cdot Q_{out}^d \cdot (Q_{out} - Q_c)$$

$$L_{inf} = m \cdot Q_{inf}^n$$

$$C_{out} = L_{out} / Q_{out}$$

$$C_{inf} = L_{inf} / Q_{inf}$$

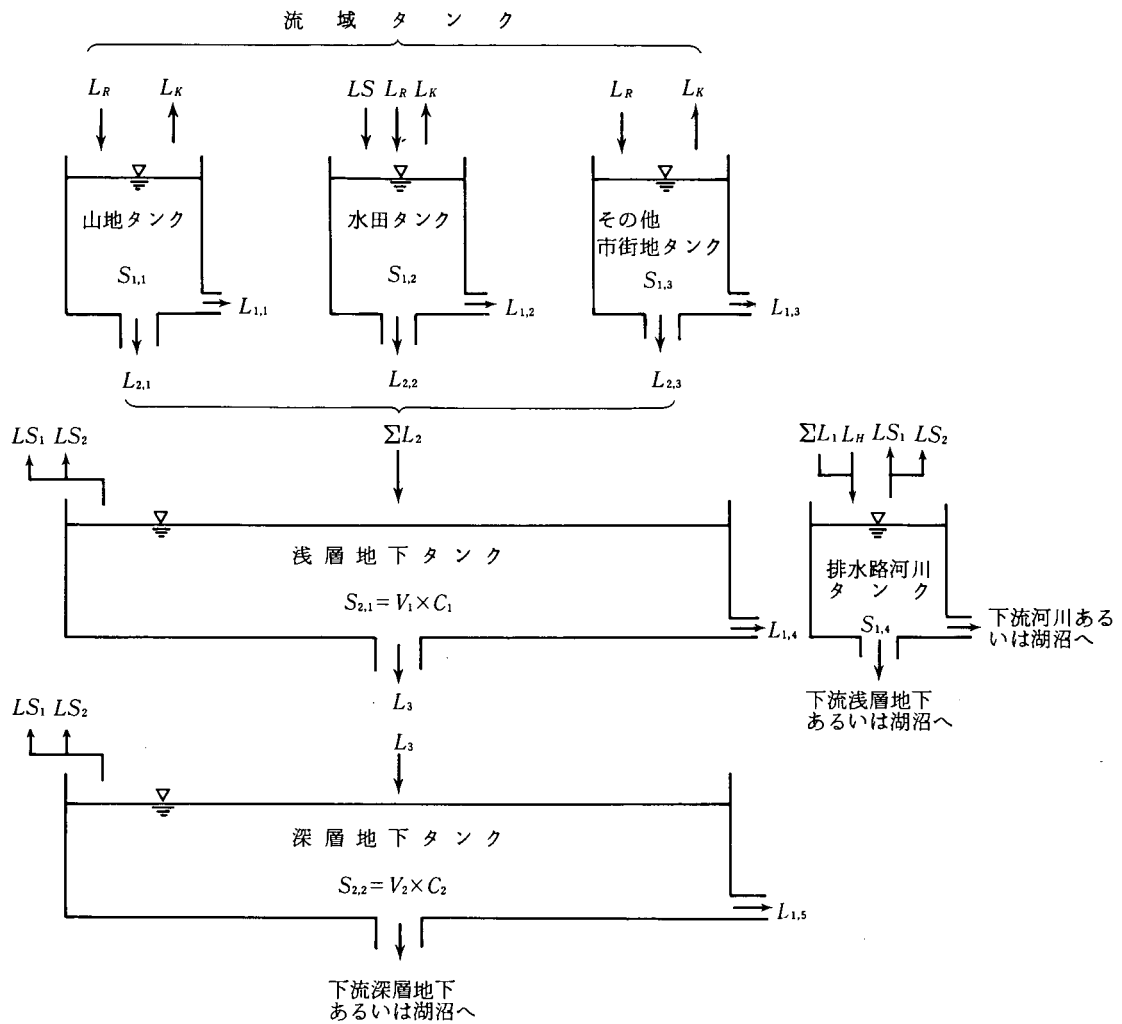
ここに、 S_1 ；タンク残存負荷量 (g)、 L_{in} ；流入負荷量 (g/日)、 LR ；降水負荷量 (g/日)、 LN ；面源負荷量 (g/日)、 LK ；還元負荷量（水田のみ）(g/日)、 L_{out} ；表面流出負荷量 (g/s)、 L_{inf} ；地下浸透負荷量 (g/s)、 Q_{out} ；表面流出水量 (m³/s)、 Q_c ；表面流出限界掃流量 (m³/s)、 Q_{inf} ；地下浸透水量 (m³/s)、 C_{out} ；流出水質 (mg/l)、 C_{inf} ；浸透水質 (mg/l)、 K ；減少係数、(COD；生産分解 (1/日)、TN；脱窒 (1/日))、 a, b, d, m, n ；モデル定数

- ④ 排水路河川タンクの残存負荷量、流出負荷量も流域タンクと同様の設定を行う。ただし、地下タンクからの流出負荷量と処理区排出負荷量はタンクに流入させないで直接流出させる。

$$\frac{dS_1}{dt} = L_{in} - (L_{out} + L_{inf} + L_s) \times 86,400 - KS_1$$

$$L_{out} = a \cdot S_1^b \cdot Q_{out}^d \cdot (Q_{out} - Q_c) + L_g + L_p$$

$$L_{inf} = m \cdot Q_{inf}^n$$



- L_R ; 降雨負荷量
- L_K ; 面源負荷量
- L_i ; 各タンクよりの流出負荷量
- L_2 ; 流域よりの浅層地下浸透負荷量
- L_3 ; 浅層地下よりの深層地下浸透負荷量
- L_H ; 都市排出負荷量
- LS_1 ; 農水取水負荷量
- LS_2 ; 都市用水取水負荷量
- S_1 ; 残存負荷量 (滞留負荷量 + 蓄積負荷量)
- S_2 ; 滞留負荷量
- V ; タンク貯水量
- C ; 地下水水質

図-2.2 負荷タンクモデルの1例

$$L_s = C_{out} \times Q_s$$

$$C_{out} = L_{out} / Q_{out}$$

ここに、 L_{in} ; 河川流入負荷量 (流域タンクからの流出負荷量と未処理区排出負荷量 (g/日)), L_{out} ; 河川流出負荷量 (g/s), L_{inf} ; 地下浸透負荷量 (g/s), L_s ; 取水負荷量 (g/s), C_{out} ; 河川水質 (mg/l), Q_s ;

取水量(m^3/s), L_g ; 地下タンクからの流出負荷量(基底負荷量)(g/s), L_p ; 処理区(処理場等)排出負荷量(g/s)

⑤ 地下タンクにおいては負荷流出の形態が表面流出や河川流出と異なると考えられることから完全混合型で地下水質流出負荷量を表わす。

また、地下タンクの残存負荷量には蓄積負荷量を考慮せず滞留負荷量のみを考える。

$$\frac{dS_2}{dt} = L_{in} - (L_{out} + L_{inf} + L_s) - KS_2$$

$$L_{out} = S_2/V \times Q_{out} \times 86,400$$

$$L_{inf} = S_2/V \times Q_{inf} \times 86,400$$

$$L_s = S_2/V \times Q_s \times 86,400$$

ここに、 S_2 ; タンク残存負荷量(g), L_{in} ; 流入負荷量(流域及び河川タンクまたは浅層地下タンクからの浸透負荷量)(g/日), V ; タンク貯留量(m^3)

2.2 流域負荷収支・流出サブモデル

流域負荷収支・流出サブモデルは流域の日降水負荷量、土地利用別面源負荷量、排水排出負荷量、取水負荷量を算定する。

(解 説)

① 日降水負荷量算定モデル

水収支モデルで算定した流域平均日降水量と雨水水質より日降水負荷量を算定する。ただし、融雪水の水質は雨水と同じと考える。

$$LR = R_{ave} \times A \times CR \times 1000$$

ここに、 LR ; 日降水負荷量(g/日), R_{ave} ; 流域平均日降水量(mm/日), A ; 流域面積(km^2), CR ; 雨水水質(COD, TN, TP ; mg/l)

② 面源負荷量算定モデル

面源負荷とは、人為的汚濁のほとんど入っていないところでの自然負荷や田畑の肥料を含む負荷、市街地の路面負荷等を示し、土地利用別の面積とそれぞれの負荷量原単位より算定する。

$$LN = \sum (A_i \times gN_i)$$

ここに、 LN ; 面源負荷量(g/日), A_i ; 土地利用別面積(km^2), gN_i ; 面源負荷原単位($\text{g/km}^2/\text{日}$)

③ 排水排出負荷量算定モデル

家庭、工場、事業所、畜舎、処理場及び水産等の基本フレームと負荷量原単位より排出負荷量を算定する。

$$LT_1 = \sum (g_{i1} \times F_{i1} \times r_{i1})$$

$$LT_2 = \sum (g_{i2} \times F_{i2} \times r_{i2}) \quad \text{or} \quad \sum (Q_{i2} \times Ci_2)$$

ここに、 LT_1, LT_2 ; 未処理区域及び処理区域の排出負荷量(g/日), g_{i1}, g_{i2} ; 未処理区域及び処理区域の発生源別負荷量原単位(g/日/単位), F_{i1}, F_{i2} ; 未処理区域及び処理区域の発生源別基本フレーム, r_{i1}, r_{i2} ;

未処理区域及び処理区域の負荷量排出率, Q_{i2} , C_{i2} ; 処理水量及び処理水質 (排水水質; $\text{m}^3/\text{日}$, mg/l)

対象とする基本フレームは水収支モデルの排水量算定モデルと同様とする。負荷量原単位は表-2.3 に示す通りである。

表-2.3 対象排出負荷量原単位

No	排水源	未処理区	処理区
1	家庭	1人当たり排出負荷量	———
2	工場	業種別出荷額当たり排出負荷量	———
3	家畜	1頭当たり排出負荷量	———
4	処理場	———	処理水質 (排水水質)

④ 取水負荷量算定モデル

水収支モデルの取水量還元量算定モデルで整理した取水の形態から取水となるか流入 (還元) となるかを整理し取水該当水域の水質から取水負荷量を算定する。

2.3 湖沼負荷収支モデル

湖沼の負荷収支は水域別に流入負荷量, 流出負荷量, 降水負荷量, 水産負荷量, 内部負荷量, 水域容量より連続の式によって算定する。

(解 説)

① 分割した i 水域における負荷量収支は次式で算定する。

$$\frac{d(C_i \cdot V_i)}{dt} = \frac{d(L_i)}{dt} = LI_{ni} + L_{out\ i} + \Delta L_i$$

ここに, C_i ; 湖水質 (mg/l), V_i ; 湖貯留水量 (m^3), L_i ; 湖滞留負荷量 (g), LI_{ni} ; 湖への流入負荷量 ($\text{g}/\text{日}$), $L_{out\ i}$; 湖からの流出負荷量 ($\text{g}/\text{日}$), ΔL_i ; 湖内部負荷量 ($\text{g}/\text{日}$)

$$LI_{ni} = LI_{1i} + LI_{2i} + LI_{3i} + LI_{4i} + LI_{5i}$$

$$L_{out\ i} = L_{01i} + L_{02i} + L_{03i}$$

ここに, LI_{1i} ; 排水路, 河川からの流入負荷量 ($\text{g}/\text{日}$), LI_{2i} ; 地下からの流入負荷量 ($\text{g}/\text{日}$), LI_{3i} ; 降水負荷量 ($\text{g}/\text{日}$), LI_{4i} ; 水産負荷量 ($\text{g}/\text{日}$), LI_{5i} ; 湖内他ブロック等からの流入負荷量 ($\text{g}/\text{日}$) $= QM_{i-1} \times C_{i-1}$, L_{01i} ; 取水負荷量 $= Q_s \times C_i$ ($\text{g}/\text{日}$), L_{02i} ; 湖内他ブロック等への流出負荷量 $= QM_i \times C_i$ ($\text{g}/\text{日}$), L_{03i} ; 流出河川負荷量 $= Q_{out\ i} \times C_i$ ($\text{g}/\text{日}$)

② 湖内部負荷量 ΔL は湖沼水域における底泥からの溶出や生物生産による負荷量増分, 沈降や生物分解, 脱窒 (気散) による負荷量減少の総量を表すものである。

2.4 湖沼負荷収支サブモデル

湖沼負荷収支サブモデルは湖面降水負荷量，水産負荷量を算定する。

(解 説)

- ① 湖面降水負荷量算定モデルは流域負荷収支サブモデルと同様である。
- ② 水産負荷量算定モデルは，水域ブロックにおける網生簀等生産高または投餌量を基本フレームとし，それらの排出負荷量原単位から水産負荷量を算定する。ただし，生産高をフレームとする場合は年間の投餌パターン等から負荷量の年間変化パターンを設定する。

$$LA = F \times g$$

ここに， LA ；水産負荷量 (g/日)， F ；投餌量 (または生産高)， g ；水産負荷量原単位 (g/日/投餌量または生産高)

第3章 基礎調査

1. 湖沼調査

対象湖沼について基本諸元、水理、水文、水質の諸量、水利用状況及び将来諸計画を調査整理する。

(解 説)

- ① 湖沼調査は対象湖沼の概要を把握するとともに、モデルの同定及び将来予測計算における適用条件、入力条件の設定のための資料整理を目的とする。
- ② 次の事項が記入された湖沼諸元図を作成する。
 - (a) 主要施設位置等
主要流入河川、主要取排水施設（放流施設、導水施設を含む）、レクリエーション施設、水質浄化施設、環境基準の類型指定状況、他必要事項の現況と将来
 - (b) 観測位置
湖水位、気象（降水、蒸発）、水質の各観測所位置の現況と将来
- ③ 水理、水文、水質の諸量及び水利用状況についての整理項目、内容、調査方法は表-3.1に示す通りとする。

表-3.1 湖沼諸量の整理要領

項 目		整 理 内 容		備 考
		現 況	将 来	
諸 元	湖 面 積	全面積, 主要ブロック別面積	埋め立て計画	
	湖 容 量	水位別全容量, 主要ブロック別水位別容量	同 上	
水 理	水 位	観測所位置, 観測状況 (種別, 開始年, 終了年, 観測機関), 観測所実績日水位 (年表)	—	
水 文	湖 面 降 水 量	観測所位置, 観測状況 (種別, 開始年, 終了年, 観測機関), 湖面観測所実績日降水量 (年表)	—	
	湖 面 蒸 発 量	観測所位置, 観測状況 (種別, 開始年, 終了年, 観測機関), 湖面観測所実績日 (蒸発計) 蒸発量 (年表)	—	
水 質	湖 水 質	測定地点位置, 測定状況 (回数, 項目, 開始年, 終了年, 測定機関), 測定結果 (定期, 特別) (日平均年表), 環境基準類型指定状況	—	COD, TN, TP
	雨 水 水 質	実績測定値	—	
水 利 用	農 水 取 水 量	実績日取水量 (年表) (取水位置, かんがい地域, 面積)	新規開発量とその取水パターン, かんがい地域, 面積, 既往取水の廃止	現況は水利権量, 年間取水パターンでも可
	都市用水取水量	実績日取水量 (年表), 取水位置	同 上	同 上
	下 流 放 流 量	実績日放流量 (年表), 放流位置, 放流規則	放流規則 (操作, 施設) の変更	
そ の 他	養 殖	養殖業の年間漁獲量と投餌パターン, 月間投餌量, 負荷量原単位	将来漁獲量予測値, 投餌量予測値, 負荷量原単位予測値	COD, TN, TP
	湖沼内部負荷量	湖内溶出量, 湖内沈降量, 湖内生産量, 湖内分解量についての期別合計値または年間合計値と変化パターン	湖内浄化対策計画及び効果予測値, 将来内部負荷量予測値	COD, TN, TP (生産量, 分解量は COD のみ)
	水 温	月平均水温		養殖, 内部負荷量の期別パターン作成用
	そ の 他	以上の項目に関する既往調査, 検討事例	現況と同様	

2. 流域調査

対象湖沼の流域及び主要流入河川について, 基本諸元, 水理, 水文, 水質諸量, 水利用状況, 社会・経済状況及び将来諸計画を調査整理する。

(解 説)

① 流域調査は対象湖沼の流域及び主要流入河川の概要を把握するとともにモデルの同定及び将来予測計算における適用条件, 入力条件の設定のための資料整理を目的とする。

② 次の事項が記入された湖沼流域図を作成する。

(a) 流域区分等

河川別流域界, 行政区分界, 下水処理区域界, 河川におけるダム, 堰及び取排水の主要な施設及び環境

基準の類型指定状況，他必要事項の現況と将来

(b) 観測位置

地下水位，気象（降水，蒸発）及び河川における水位，流量，水質の観測地点の現況と将来

③ 水理，水文，水質の諸量及び水利用状況についての整理項目，内容，調査方針は表－3.2 に示す通りとする。

④ 次に示す流域の社会・経済条件の現況と将来（フレームと排水量，負荷量の原単位）を表－3.3 の様式にて整理する。

(a) 土地利用状況（山地，畑地，水田，市街地，その他の分類）

(b) 人口

(c) 産業中分類別工業出荷額

⑤ 次に示す流域の水質保全対策の現況と将来を表－3.4 の様式にて整理する。

(a) 下水処理状況（対象区域，人口，処理場位置，処理水量と水質）

(b) し尿処理状況（同上）

(c) 排水規制

(d) 水質改善事業

表－3.2 流域の水理，水文，水質及び水利用状況の整理要領

項 目		整 理 内 容		備 考
		現 況	将 来	
水 理	河 川 流 量 (水 位)	河川名，水位流量観測所位置，観測状況（種別，開始年，終了年，観測機関）， $H-Q$ 式，観測所実績日流量年表（または日水位年表）	・ダム開発等に伴う将来水量	
	地 下 水 位	観測所位置，観測状況（種別，開始年，終了年，観測機関），基準水位，観測所実績日水位年表	—	
水 文	流 域 降 雨 量 " 降 雪 量 " 積 雪 量 " 気 温	流域内および近傍の観測所位置，観測状況（種別，開始年，終了年，観測機関），実績日降雨量，日降雪量，日積雪量，日平均気温年表	—	
	流 域 蒸 発 量	流域内及び近傍の観測所位置，観測状況（種別，開始年，終了年，観測機関），実績日（蒸発計）蒸発量年表	—	
水 質	河 川 水 質	測定地点位置，測定状況（回数，項目，開始年，終了年，測定機関），測定結果（定期，特別）の日平均年表，環境基準類型指定状況	・河川水質浄化施設計画及び効果予測 測量	COD, TN, TP
	地 下 水 水 質	同 上	—	
	雨 水 水 質	実績測定値	—	
水利用	河川農水取水量	取水位置，かんがい地域面積，実績日取水量（年表）	・新規開発量と取水パターン，かんがい地域，面積，既往取水の廃止	現況は水利権量と年間の取水パターンでも可
	地 下 水 農 水 取 水 量	取水地点，取水深度（深井戸，浅井戸の区別），その他は同上	同 上	同 上
	河川都市用水 取 水 量	取水位置，実績日取水量（年表）	同 上	同 上
	地下水都市用水 取 水 量	取水地点，取水深度（深井戸，浅井戸の区別），その他は同上	同 上	同 上

表－3.3 流域の社会，経済条件の整理要領（様式）

項 目		現 況（S. ）			将 来（S. ）		
		フ レ ー ム	原 単 位		フ レ ー ム	原 単 位	
			排 水 量	負 荷 量		排 水 量	負 荷 量
土地利用	全 流 域 面 積	km ²			km ²		
	山 地 面 積						
	畑 地 面 積						
	水 田 面 積						
	市 街 地 面 積						
	その他の面積						
人 口		人			人		
家畜頭数	牛	頭			頭		
	豚						
中 分 類 別 工 業 出 荷 額	1. 食 料 品	百万円			百万円		
	20. そ の 他						
	合 計						

表－3.4 流域の水質保全対策の整理要領（様式）

下 水 処 理	対 象 人 口		
	対 象 区 域		
	区 域 面 積		
	対 象 人 口		
	処 理 場 位 置		
	放 流 水 量		
	放 流 水 質		
し 尿 処 理	処 理 区 名		
	対 象 区 域		
	対 象 人 口		
	処 理 場 位 置		
	放 流 水 量		
排規 水制	規 模		
	規 制 値		
水善 質対 策	面源対策		
	そ の 他		

第4章 モデルの同定

対象湖沼及びその流域に本モデルを適用し、現況の水量・水質の再現計算を実施しモデルの同定を行う。

1. モデル適用条件の設定

1.1 基本条件の設定

モデル適用による再現計算の対象年を設定するとともに、湖沼分割及び流域分割を行う。

(解 説)

- ① 再現計算の対象年は以下の点を考慮し設定する。
 - i) 再現の対象となる河川流量(または湖流入量)、河川水質、湖水位、湖水質等の実績資料が整っていること。
 - ii) 計算入力条件となる流域湖沼の基本フレーム、原単位、取水量、処理場放流量、放流水質、湖沼からの放流量等の実績資料が整っていること。
 - iii) 平年的な流況であって異常な(大規模な)出水や異常な渇水、湖水位の低下がないことやプランクトン異常発生等による水質変化がないこと。また、工事等による流量、水質の変化がないこと。
- ② 湖沼の水域分割にあたっては以下の点を考慮する。
 - i) 水域の水理、水質特性及び水利用状況が明確になるよう地形を考慮し、流入河川や取排水位置をさけるとともに、水域を代表する水質測定地点を中心に分割する。
 - ii) 将来の諸計画に対応できるよう、将来開発計画や水質保全計画の評価を目的とする地点、または評価可能な地点を中心に分割する。
 - iii) 流域の水量水質特性との関係が明確に把握できるよう、流域の代表的河川の流入水域で分割する。
- ③ 流域の分割にあたっては以下の点を考慮する。
 - i) 定数の同定化が可能であるよう、流域を代表する流量、水質の観測地点(またはその近傍)で分割する。また湖沼への流入量、流入負荷量(水質)が把握でき、湖沼の水量水質特性との関係が明確に把握できるよう、湖沼の水域分割に対応した流域分割を行う。
 - ii) 流域の特性が明確に把握できるよう、流域の土地利用、社会経済活動の分布を踏まえて分割する。
また、取排水の影響が顕著な位置は避けるとともに流域の気象(降雨)特性を表しうる分割を行う。
 - iii) 将来の諸計画に対応できるよう、将来の開発計画が水質保全計画の評価を目的とする地点、または評価可能な地点で分割する。

1.2 入力条件の設定

再現計算における対象年の降水量、蒸発量、基本フレーム、排出原単位、取水量、処理場排水量、排水水質、湖沼水位容量関係、下流への放流量(湖沼放流操作規則)、初期湖水位、初期水質の各入力条件を設定する。

(解 説)

① 降水量は分割した流域及び湖面別に流域及び近傍の観測所日降水量と後述するモデル定数（ティーセン係数、代表係数、単純平均係数のいずれか）により設定する。

なお、流域において融雪がある場合にはさらに、観測所日平均気温（観測所は雨量観測所と一致する必要はない）とモデル定数により設定する。

② 蒸発量は分割した流域及び湖面別に流域内及び近傍の観測所蒸発計蒸発量または日蒸発散能と後述するモデル定数（ティーセン係数、代表係数、単純平均等係数のいずれか）により設定する。

③ 流域フレームは分割した流域別に、土地利用フレームとして流域面積、山地面積(畑地を含む)、水田面積、その他の面積を設定するほか、社会経済フレームとして下水道処理、未処理別に人口、工業出荷額（原則として中分類別）、家畜(牛、豚別)頭数を設定する。ただし、融雪がある場合には流域面積を標高別(100 m ピッチ程度)に設定する。

また、湖沼フレームとして分割した水域別に湖面積及び養殖生産高または、投餌量を設定する。

④ 排水量・排出負荷量原単位は社会経済フレームに対して、分割した流域別に1人1日当たり排水量・排出負荷量原単位、工業出荷額百万円1日当たり排水量・排出負荷量原単位(原則として中分類別)、家畜(牛、豚別)1頭1日当たり排水量・排出負荷量原単位と土地利用フレームに対して山地面源負荷量原単位(畑地分も含む)、水田面源負荷量原単位、市街地面源負荷量原単位を設定する。

また、分割した水域別に、養殖高(または投餌量)単位当たり排出負荷量原単位を設定する。なお、第3章基礎調査において、流域の原単位が調査されなかった場合には、「流域別下水道整備総合計画 指針と解説」(日本下水道協会)等を参考に設定する。

⑤ 取水量は水源別(河川、地下水、湖沼、他流域)に設定する。河川取水量及び地下水取水量は、分割した流域別に、都市用水日取水量(上水、工水)と流域内に還元される農水日取水量及び他流域に還元される農水日取水量を設定する。

湖沼取水量は、分割した水域別に都市用水日取水量と、還元される流域別の農水日取水量及び他流域に還元される農水日取水量を設定する。また、他流域からの取水については農水のみを対象とし、分割した流域別に日還元量として設定する。

いずれも日取水量の設定が困難な場合は水利権量と取水パターン(期別取水係数)を設定する。

⑥ 処理場排水量、排水水質は分割した流域別、水域別に処理場実績日排水量、排水水質を設定する。

⑦ 湖沼水位容量関係は分割した水域別及び全湖沼について対象年の年間水位変化をカバーできる範囲で設定する。

⑧ 下流への放流量は水門等の放流操作規則をモデル化し、日湖水位、日流入量等から日放流量を設定する。ただし、湖沼の放流量操作が湖沼条件だけでなく、他の諸条件によって影響されている場合には再現計算においてのみ、実績の日放流量を設定するものとする。

⑨ 初期湖水位は、計算開始前日の水位を設定する。また、初期湖水質は原則として計算開始前日の湖水質を分割した水域別に設定するものとするが、実績資料の存在状況によっては、計算開始日に最も近い測定結果を設定する。

1.3 モデル定数の設定

再現計算における水収支モデル、負荷量モデル（「第2章」参照）の初期定数を設定する。

（解 説）

① 流域水収支・流出モデルにおいて設定する定数は流出孔高さ（ h_i ）、流出孔係数（ a_i ）、初期タンク水位（ H_0 ）である（第2章1.1参照）。

流出孔高さ（ h_i ）及び流出孔係数（ a_i ）は概ね表－4.1の通りである。ただし、これらの数値は一般的なもので、低平地の多い流域や浸透性の強い流域などでは例外もあるため、対象流域の地形等を勘案し、「第6章資料」に示した他河川の事例を参考に設定するのがよい。

表－4.1 初期タンク定数（例）

タンク		孔係数	孔高さ	初期水位
第1段タンク	上孔	0.1 ～ 0.5	30 ～ 60 mm	0 mm
	下孔	0.1 ～ 0.5	10 ～ 20 mm	
第2段タンク		0.03 ～ 0.10	0 ～ 50 mm	0 mm
第3段タンク		0.005 ～ 0.05	0 ～ 30 mm	10 ～ 100 mm

「流出計算例題集2」（建設省水文研究会編）

なお、1つのタンクで流出孔が2つ以上ある場合には、一般には上の流出孔の係数は下の流出孔の係数より大きい等しい。また、各タンクの孔の係数は、一般に、上方のタンクほど大きく、下方に行くほど小さくなり、各タンクの孔の高さは、一般に第3段タンクでは貯留高よりも低い。

一方、初期タンク水位（ H_0 ）は、計算開始前の雨量や河川流量（流出高）と前述したタンク孔係数から設定するものとする。

なお、計算は降雨や融雪の少ない時期から開始することが望ましく、その場合各タンクの貯留残高（初期水位）の値は概ね表－4.1の程度である。

② 流域水収支・流出サブモデルにおいて設定する定数は流域平均日降水量及び日蒸発量算定係数、融雪係数、蒸発係数、降雨時蒸発減少係数である（「第2章」1.2参照）。

流域平均日降水量及び蒸発量算定係数は、分割された各流域における代表観測所のティーセン係数、代表係数、単純平均係数のいずれかで設定する。

融雪係数は実績の積雪を再現する値を試算で算定することを原則とするが、一般に5 mm/日/℃程度とさ

れている（「流出計算例題集2」建設省水文研究会編）

蒸発係数 n 及び蒸発散能を用いる場合の降雨時の蒸発減少係数 p は、対象流域の既往検討結果を参考に設定するが、資料が得られない場合は次の様に設定する。

$$n = R/Q$$

R ；流域年間降水量（mm/年）， Q ；河川流出高（mm/年）

$p = 0.5$ ；日平均降水量が 0.5 mm/日より大きい時

$p = 0$ ；日平均降水量が 0.5 mm/日より小さい時

③ 流域負荷収支・流出サブモデルにおいて設定するのは「流送能力供給関数」の定数 (a, b, d) と「流送能力関数」の定数 (m, n)、初期残存負荷量 (S_o)、限界掃流量 (Q_c) 及び負荷減少係数 (K) である。これらの定数の初期値は、文献、事例（「第6章資料」参照）を参考に表-4.2 で設定する。

④ 湖沼負荷収支モデルにおいて設定するのは、湖沼内部負荷量である。湖沼内部負荷量は湖内における底泥溶出、生物生産、沈降、生物分解、脱窒（気散）の各成分の合計値を対象湖沼における既往検討結果を参考に年間変化パターン（月別値程度）で設定する。

なお、資料が得られない場合は「第6章資料」を参考に設定する。

表-4.2 流域負荷量収支・流出モデル定数の初期値

定数	設定値	摘 要
a	—	洪水時流出負荷量または晴天時流出負荷量を実績値と一致させる値で設定する。
b	1.0 ~ 3.0	
d	0.0 ~ 1.0	
m	—	晴天時浸透水質を実績地下水質と一致させる値で設定する。
n	0.0 ~ 2.0	
S_o	—	計算開始前の晴天時蓄積負荷量 ※
Q_c	0	
k	0	

※〔晴天時蓄積負荷量〕 = (〔流域日排出負荷量〕 - 〔晴天時日流出負荷量〕)
× 〔計算開始前晴天日数〕

2. 水量水質再現計算

2.1 再現対象水量水質

再現計算によって再現する水量水質は、河川流量、湖水位、河川水質、湖水質とする。

（解 説）

① 流域分割地点（河川流量算定地点）が河川流量観測地点と一致していない場合には観測流量値を比流量換算等によって流域分割地点流量に換算し、再現対象河川流量とする。

② 再現対象湖水位は、原則として湖内全平均水位とするが、湖内各地点間の水位差がわずかである場合は、代表観測地点水位を再現対象湖水位とする。

③ 流域分割地点（河川水質算定地点）が水質観測地点と一致していない場合や、1つの流域ブロックから複

数の河川が湖沼に流入している場合には、各流域ブロック内の流量加重平均河川水質を再現対象河川水質とする。

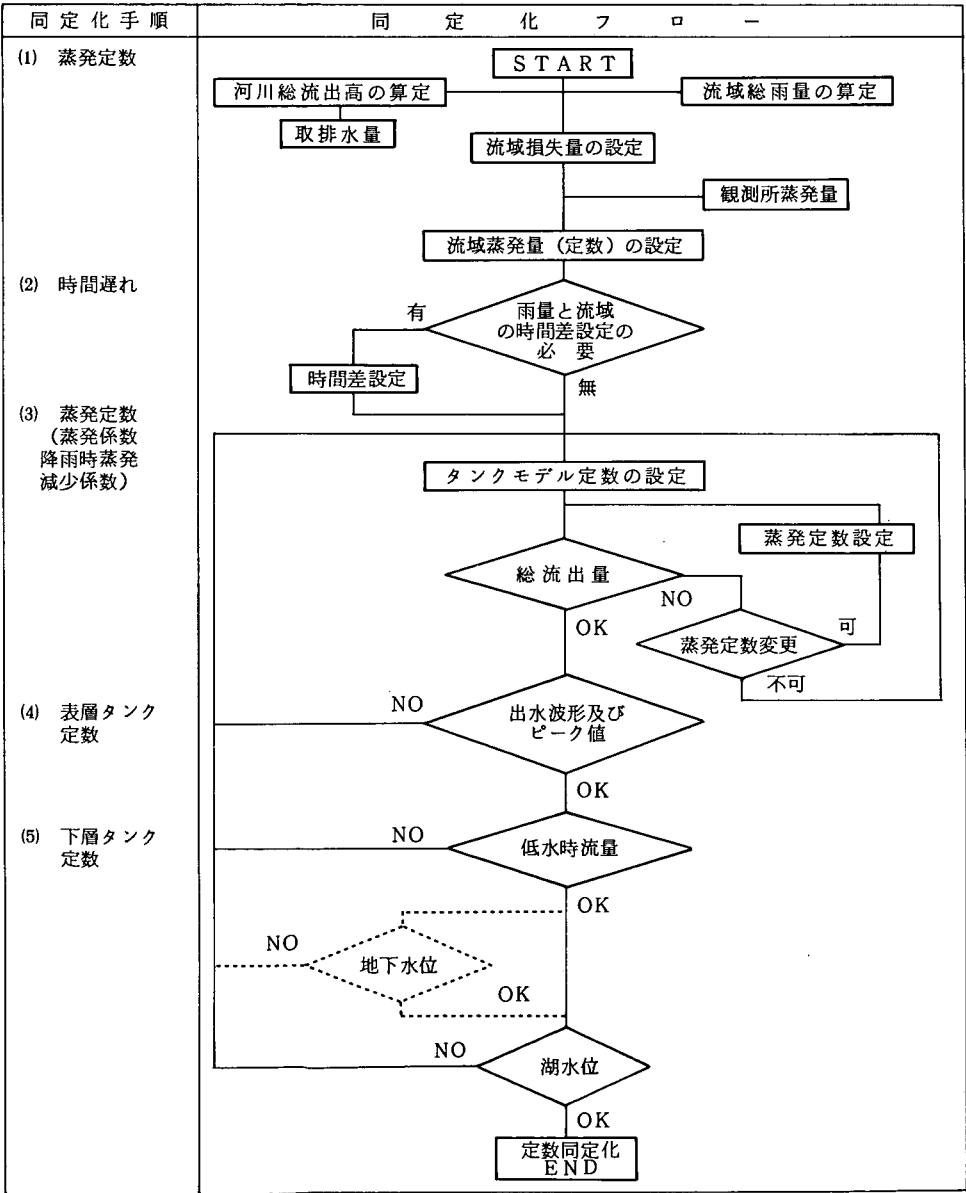
④ 再現対象湖水質は各流域ブロック平均水質とするが、水域内の代表性を勘案し代表測定地点（環境基準地点）水質を再現対象水質とすることもできるものとする。

2.2 モデルの同定手順と手法

定数の同定化は、まず水収支モデル定数を同定化し、その結果を用いて負荷収支モデル定数を同定化する手順をとる。

（解 説）

① 水収支タンクモデル定数の同定化は概ね図－4.1 に示すフローによるものとする。



図－4.1 水収支タンクモデル定数同定手順

水収支タンクモデル定数の同定化は流量ピークの出現時及び、そのピーク値の一致、低水流量の一致、総流出量の一致、洪水の立ち上がり、減衰性状の一致に留意して修正すべき部分を見出し、この部分に対するタンクの孔を見つけ、孔の定数を改めて実測ハイドログラフに近付けていく手順で行う。

② 負荷収支モデル定数の同定化は、概ね表－4.3 によるものとする。

表－4.3 負荷収支モデル定数の同定手順と手法の概要

負 荷 量 算 定 式	$L = a \cdot S^b \cdot Q^d \cdot (Q - Q_c)$
手 順 ・ 手 法	同定化の概要
(1) Q_c (限 界 掃 流 量)	Q_c は流量が小さい時の流出負荷量の急激な減少（及びその反対）を表現するパラメータであり、実績の流量と水質の経時変化より、低水流量付近においてその傾向が認められればその流量値で設定する。
(2) d	$L = a' \cdot Q^d$ と仮定し、流量変動と水質変動の状態を比較して d を推定する。 $(C = L/Q = a' \cdot Q^d)$
(3) b	文献、事例によれば、概ね $b = 1 \sim 3$ であり、大きくなるに従って出水後の水質が低下する（流出負荷量が減少する）傾向にあることを勘案し設定する。
(4) S_0 (初期残存負荷量)	計算開始前の降雨までの日数分に相当する蓄積負荷量を目安とする。 $S_0 = [\text{流域日排出負荷量}] - [\text{晴天時日流出負荷量}] \times (\text{前降雨までの晴天日数})$ ただし、 $S(S_0)$ が大きくなると、流入流出による変動が少なくなり、負荷量のフラッシュ等は表現されにくくなる。従って出水後のフラッシュによる水質低下状況や計算前出水までの日数、水質特性を、勘案して設定する。
(5) a	以上設定した定数に対し、実績水準が再現されうる値で設定する。
(6) 湖 水 質	内部負荷量を、再現性を考慮しながら設定する。

負荷収支モデルの同定化も水収支タンクモデル定数と同様に、負荷量ピーク時及びその値の一致、基底流出負荷量、総流出負荷量の一致、洪水時負荷流出性状の一致に留意して、実績負荷流出に近付けるよう定数を推定していく手順で行う。

③ 具体的な定数同定の手順、方法は「第6章 資料」に示した文献、事例を参照されたい。

2.3 再現計算結果の評価

水量及び水質の再現計算結果の再現性を評価する。

(解 説)

① 再現計算結果の再現性評価にあたっての着目点と評価基準は下表の通りとする。

項 目	着 目 点	評 価 基 準
河 川 流 量	年間総流量 低 水 流 量（基底流量） 出 水 波 形 出水ピーク流量	年間総流量の誤差率 日流量による相関係数と回帰比率
湖 水 位	低水時水位	日水位による相関係数と回帰比率
地 下 水 位	年間変化パターン	定性的傾向の確認
河 川 水 質	低水時水質 出水時前後の低水時水質レベル 出水時ピーク水質	日平均水質による相関係数と回帰比率
湖 水 質	年間変化パターン	月平均水質程度による相関係数と回帰比率

- ② 河川流量は湖沼への年間総流入量，低水時流量の再現性に特に着目する。
- ③ 地下水位は年間変化パターンの傾向が再現される程度でよいと考える。
- ④ 河川水質は河川流量とあわせて河川流入負荷量を算定するものであるから年間を通した再現性に着目する。
- ⑤ 湖水質は流域への還元水質（農水取水）が妥当な水質となる再現程度でよい。

第5章 将来予測

1. 入力条件の設定

将来予測における基本フレーム、排出原単位、取水量、処理場排水量、排水水質、湖沼水位容量関係、下流への放流量（湖沼放流操作規則）、初期湖水位、初期水質の各入力条件を設定する。

（解 説）

① 将来の降水量、蒸発量については、再現計算（現況）と同様とする。

② 初期湖水位は、将来の湖水位（水開発）計画等に基づいた制限水位等を考慮して設定する。

また、初期河川水質及び湖水質については、流域の排出負荷量の伸びを考慮して暫定的に設定し、計算の収束性を勘案し設定する。

③ その他の項目については再現計算における入力条件と同様の考え方で設定する。

2. モデル定数の設定

将来の流域条件の変化によって変化すると考えられるモデル定数を設定する。

（解 説）

① モデル定数への影響が大きいと考えられる流域条件の変化を抽出し現況モデル定数を参考に、表—5.1に示す将来モデル定数設定方針に従い設定する。

3. 水量水質予測計算

3.1 予測計算結果の妥当性確認

算定された将来予測計算結果を、将来値として評価することが妥当か否を確認する。

（解 説）

① 算定された将来予測計算結果については、タンク水位（特に深層地下タンク水位）やタンク残存負荷量の収束性や安定性等から計算値の妥当性を確認する。

② タンク水位やタンク残存負荷量の収束性や安定性が得られていない場合は、将来モデル定数の見直しを行う。

表－5.1 将来モデル定数設定方針

定数	タンク	流域条件の変化	水量(水質)への影響	定数設定方針
水収支タンクモデル定数	山地タンク	・森林開発(伐採)	・森林による降雨遮断効果が失われ、流出がシャープになる。 ・蒸発散機構が変化する。	・流出孔高(h)を高くし、係数(a)を大きくする。 ・山地蒸発係数を変更する。
	水田タンク	・水田整備	・流出量の減少 ・減水深の変化	・あぜ高等を参考に流出孔高(h)を変更する。 ・浸透孔係数(a)を変更する。
	市街地その他タンク	・舗装化、宅地化の促進 ・下水道整備の促進 ・雨水流出抑制対策の導入(流域、貯留、浸透)	・浸透域の減少と表面流出域の拡大 ・計画雨量以上において流量が急増 ・河川への流出の減少及び、流出の遅れ	・流出孔係数を大きくし、浸透孔係数を小さくする。 ・有効雨量を設定する。 ・計画の抑制率に見合った流出孔高、係数に変更する。 ・浸透孔係数を大きくする。
	河川タンク	・河川改修	・流下時間が早まる。	・雨量と流出の時間差を修正する。
負荷量流出モデル定数	市街地その他タンク	・土壌浄化施設の設置	・浸透負荷量の増大	・ m , n を大きくする。 ※設置タンクは施設の実態より決定する。
	河川タンク	・河川(河道)改修 ・河川構造物の設置(堰等) ・河川浄化施設の設置	・負荷量が残存しにくくなる。 ・負荷量が残存しやすくなりかつ流出しにくい。 ・流出負荷量の減少 (1) 晴天時負荷量の削減 (2) 雨天時負荷量の削減	・ Q_c を小さくする。 ・初期 $S(S_0)$ を小さくする。 ・ Q_c を大きくする。 ・初期 $S(S_0)$ を大きくする。 ・ a を小さくする。 ・ Q_c を大きくする。 ・ d を小さくする。 ・ Q_c を大きくする。
	全般	・水収支タンクモデル定数の項と同様	・流出水量、浸透水量の変化に伴う、負荷量の変化あり。	・水収支タンクモデル定数の変更によって対応できるものとする。

定数	流域条件の変化	水質への影響	定数設定方針
湖沼内部負荷量	・流入負荷量の変化 ・湖内浄化対策の実施	・湖水質の低下	・沈降量、溶出量の減少 他

3.2 予測計算結果による評価と処理

予測計算結果により評価基準（行政目標等）に対する評価を行うにあたっては、計算結果を評価基準に対応するよう処理する。

（解 説）

① 環境基準，行政目標における評価方法（基準）とそれに対応する時間スケールは次の通りである。

項 目	評 価 方 法	時 間 ス ケ ー ル
環 境 基 準	通常は「水質測定計画」に基づく月1回年12回の資料を統計処理による。 (年平均値，年75%値)	月単位またはそれより小さい単位
※行政目標	(例1) 環境基準に対応した暫定目標	月単位またはそれより小さい単位
	(例2) 異常水質の監視可能性	日単位またはそれより小さい単位

※行政目標については例示的に示したものである。

一方，本モデルの時間スケールは多目的に対応が可能となるよう1日単位としている。従って表に示した目標に対しての評価を行うにあたっては，必要があればモデル計算結果（日単位）を月平均値，年間75%値へ処理して評価を行うものとする。

第6章 資 料

1. その他のモデル例

1.1 水量循環の既存モデル

① 雨水流出モデル

水量循環モデルの基本となる、地下水流出も含めた長期流出モデルとしては、大別し、次の3つのモデルがある。

- (i) 単位図法——重回帰モデル、重みつき統計的単位図法
- (ii) 雨水流法——補給能モデル
- (iii) 貯留法——タンク・モデル

単位図法は、洪水流出解析手法として広く採用されている手法であるが、日単位程度で考えると、非線形性が強いと考えられる洪水流出も平均化され、線形近似が容易になることもあって長期流出解析手法（低水流出解析手法）としても有用とされている。

雨水流法は物理的観点から組み立てられたモデルであるが、表面流出、中間流出はともかく、地下水流出は容易に視察することのできない地下の現象を対象としているため、どこまで物理性を考慮しつつ現象の単純化を許容するかが問題であるとされている。

貯留法は流域を雨水の貯留場として捉え、貯留量と流出量の間にある種の関数関係を想定して流出計算を行う方法で、常に雨水の残積した形での刻々の貯留量を基礎としているため、非線形性も容易に表現できる特色をもっている。

② 湖沼水収支モデル

湖沼水収支モデルは、湖水位の日変化、流域への取水（還元）が表せれば充分であり、湖沼流の水量循環モデルに用いる湖沼水収支モデルは連続式による水収支で良いと考えられる。

1.2 水量循環の既存モデル

① 負荷流出モデル

負荷流出モデルとしては、大別し、次の2つのモデルがある。

- (i) 負荷量一定モデル
- (ii) 負荷量変動モデル
 - (a) 流送能力型
 - (b) 流送能力、供給関数型

負荷量一定モデルは、下水道計画等で、主に *BOD* を水質指標とした時に用いられる手法である。負荷量変動モデルのうち、流送能力型は流出負荷量を流量の関数として表すもので、*COD* や有機汚濁指標のみでなく、栄養塩や濁質（浮流砂も含む）も流送能力・供給関数型では、負荷量ポテンシャル *S* による流出負荷量を修正し、出水等に起因する、流量に対する負荷量の変動を説明するものである。

② 負荷供給モデル

負荷量の発生源よりの供給モデルとしては、大別し、次の2つのモデルがある。

- (i) 負荷量原単位法
- (ii) 輸送能力型モデル

負荷量原単位法は、発生源における負荷排出量の基本要因となるフレームを設定し、これに実態調査等で求めた負荷量原単位法を乗じ、排出負荷量を求める方法であり、下水道計画に用いられている。

輸送能力型モデルは、供給負荷量を流量の関数で表すもので、山地等より負荷供給などに適用される。

③ 湖沼の負荷量モデル

湖沼は停滞水域であることから負荷量モデルは富栄養化モデルとなる。

富栄養化モデルとしては、大別し、次の2つのモデルがある。

- (i) 生態モデル（捕食モデル）
- (ii) 化学モデル（物質循環モデル）

生態モデルは、動植物プランクトンの消長を把握するもので富栄養化現象としての水の華、洪水赤潮など生物の異常発生の状況を表すことができる。

化学（物質循環）モデルは C , N , P について、生物生産、底泥よりの溶出、沈降、分解等に内部汚濁要因による各物質存在の形態（有機態、無機態の別、粒子態、溶解態の別）の変化を物質収支式で表すものである。

また、霞ヶ浦での検討（建設省）では、 COD , TN , TP を水質項目とし、生産に寄与する IN , IP を実測に基づく水質相関より求めて、生物生産量を推定する簡易化学モデルもある。

2. 参考文献

既存の雨水流出、水循環モデル、負荷流出モデル及び湖沼負荷量モデルに関連した文献を表-6.1 に示す。

表-6.1(1) 低水長期流出モデル及び水循環モデルの既存文献

分 類	文 献 名	著 者	出 典
単 位 図 法	重回帰モデル	重回帰式による非線形降雨流出の解析法 白石, 大西, 伊藤	農土論文, 63, 1976
	重み付き統計的 単 位 図 法	重み付き最小自乗法による単位図 決定の考え方とその方法 丸山, 富士岡	農土論文, 43, 1976
	情報論的モデル	長期間流出機構の情報論的研究 高棹, 池淵	京大防災研年報 12, B 1967
雨流 水法	補給能モデル	山地小流域河川の低水解析(2) 角屋, 豊国	京大防災研年報 10B, 1967
貯 留 法	タンクモデル	流出解析法 菅原	共立出版, 1972
		タンクモデルの最適固定法に関する 基礎的検討 永井, 角屋	京大防災研年報 23, B-2, 1980
水 循 環 モ デ ル		水循環モデルの実用的作成法 大内, 松下	土木技術資料23 23-1, 24-3 (1981)
		地下水を考慮した水循環モデル 石崎, 佐合, 山田	土木技術資料 21-6 (1979)
		昭和55年度最上川流域水管理計画 報告書 建設省山形工 事事務所	
		水質汚濁と水資源配分の問題 吉川	「環境アセスメントの基 礎手法」鹿島出版会
		霞ヶ浦の水収支 村岡	国立公害研究所報告 No.20 (1981)
		琵琶湖流域の水の循環に関するシ ステム論的考察 清水, 久保, 有本	計測自動制御学会論文集 vol. 13-2 (1977)

表－6.1(2) 負荷流出モデルの既往検討文献

分類	タ イ ト ル	著 者	文 献 名
負 荷 流 出 モ デ ル	都市河川の底泥堆積物とその負荷の定量	和田安彦	「用水と廃水」 (vol 27 No 7, 1985)
	汚濁物質の降雨時流出特性と流出負荷量	海老瀬潜一	「水質汚濁研究」 (vol 8-8 1985. 8)
	河川水質・負荷量の変動特性とそのシミュレーション	山口高志, 吉川勝秀, 浅野富夫	「土木技術資料」 22-9 (1980)
	都市流出水による汚濁流出シミュレーション ー雨天時合流式による汚濁流出COD流出ー	中村栄一	「土木技術資料」 23-5 (1981)
	水質汚濁現象の数理モデル (3) 負荷発生と流出・流達モデル	海老瀬潜一	「水質汚濁研究」 (第6巻 第2号 125- 133 1983)
	都市路面堆積負荷流出とモデル化	和田安彦, 三浦浩之	第11回環境問題シンポ講演 論文集 1983
	非特定汚染源負荷と雨天時流出モデル	和田安彦	「公害と対策」 vol 18 No 5
	猪名川における汚濁負荷量流達率に関する研究	小林 武	「水資源シンポジウム講演 集」
	河川の汚濁負荷流達率に関する研究	浮田正夫, 中西 弘	「土木学会論文集」 第357号II-3 1985年5月
	タンクモデルを用いた降雨時流出負荷量 解析	海老瀬潜一, 宗宮功, 平野良雄	「用水と廃水」 (21-12 1979)
	下水管路施設設計の合理化に関する調査 報告書 (IV)	建設省土木研究所下水道 研究室	「土木研究所資料」 第1704号
	雨天時河川堆積負荷流出に関する研究	和田	「水処理技術」 (22-8 1981)
	都市河川における流出負荷量の推定	橋本 他	「下水道協会誌」 (18-207 1981)
負 荷 供 給 モ デ ル	農業地域における水循環と水質保全	増島 博	「環境情報科学」 (11-3 1982)
	流総指針	下水道協会	――
	陸水域の富栄養化防止に関する総合研究	国立公害研究所	――
湖 沼 負 荷 量 モ デ ル	富栄養化水域の水質汚濁計算	大島, 向田	「土木技術資料」 (21-3 1979)
	霞ヶ浦汚濁制御調査報告書	国土開発技術研究セン ター	――
	霞ヶ浦水質保全調査報告書	建設省霞ヶ浦工事事務 所	――
	霞ヶ浦導水による浄化効果検討	建設省霞ヶ浦工事事務 所	――
	水質汚濁及び水系の富栄養化のモデリン グとシミュレーション	池田	「環境技術」 (5-6 1976)
	琵琶湖南湖中部流域下水道浄化センター 放流水質南湖シミュレーション	滋賀県下水道建設課	S. 52
	水質変化予測基本調査報告書	環境庁水質保全局	S. 53
	小川原湖富栄養化モデルについて	建設省高瀬川総合開発 工事事務所	第35回建設省技術研究会報 告 (S. 56)

計算手法をプログラミングした例と、そのデータ入力マニュアルを以下に示す。プログラムの概要は次の通りである。

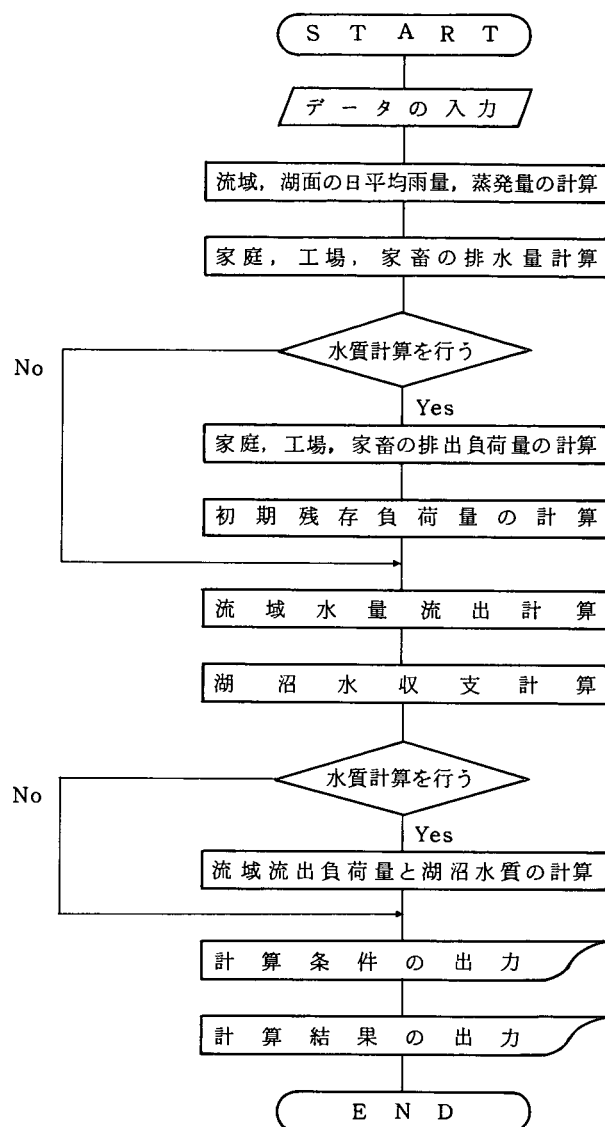
プログラム名	水量水質循環モデル
プログラミング言語	FORTRAN 77
ルーチン数	19
ステップ数	1118（コメント行，継続行は除く）
実行必要容量	1455 KB

なお，このプログラム例は次の条件で作成したものである。

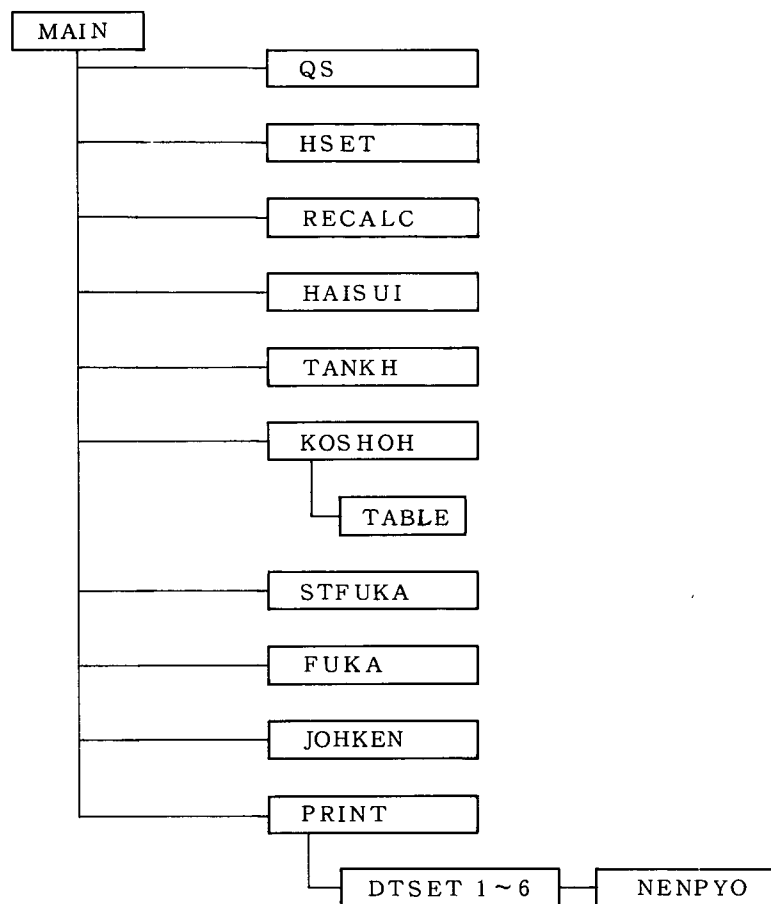
- ① 日降水量算定においては融雪を考慮しない。
- ② 日蒸発量は蒸発計蒸発量により算定する。
- ③ 工業排水については水量，負荷量とも中分類別ではなく合計値で算定する。
- ④ 湖沼放流量は湖水位制限ルールを与えて算定する。

付録 B.2 計 算 プ ロ グ ラ ム

付録 B.2.1 プログラムの基本フロー



付録B.2.2 プログラム構造



付録B.2.3 各ルーチンの概要

ルーチン名	種類	COMMON	ステップ数	概要
MAIN	主	TNK 1~17	232	- データの入力 - 計算のコントロール
QS	副	—	37	流域別（または水域別）の利用別取水量（または負荷量）の入力
HSET	副	TNK 2, 11	20	湖沼制限水位の設定
RECALC	副	—	11	流域別（または水域別）日平均雨量（または蒸発量）の計算
HAISUI	副	TNK 1, 6	23	家庭、工場、家畜の排水量及び排出負荷量の計算
TANKH	副	TNK 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 11	102	各流域の各タンク水位、流出量の計算
KOSHOH	副	TNK 1~5, 7, 8, 10, 11, 17	103	湖水位、放流量湖ブロック間移動水量の計算
TABLE	副	—	9	内挿、外計算
STFUKA	副	TNK 1, 2, 4, 6, 12	26	各タンク初期残存負荷量の計算
FUKA	副	TNK 1~8, 10~14	146	- 各流域各タンクの流出負荷量(水質)タンク残存負荷量の計算 - 湖水質の計算
JOHKEN	副	TNK 0~8, 10~15	191	計算条件の出力
PRINT	副	TNK 1, 5, 7, 8, 10, 12, 13	32	計算結果の出力
DTSET1	副	—	13	計算結果の出力
DTSET2	副	—	14	計算結果の出力
DTSET3	副	—	8	計算結果の出力
DTSET4	副	—	18	計算結果の出力
DTSET5	副	—	16	計算結果の出力
DTSET6	副	—	15	計算結果の出力
NENPYO	副	TNK 0, 2	102	計算結果の年表形式の出力

付録B.2.4 主 要 変 数 の 概 要

(入力する変数については、データ入力マニュアル参照)

変 数 名	定義ルーチン	定 義 文 (COMMON)	配 列	内 容
IRT	MAIN	—	(32)	入力コントロール
KMAX	MAIN	TNK1	—	流域分割数
KKMAX	MAIN	TNK1	—	湖沼分割数
AREA	MAIN	TNK4	(6, 10)	各流域土地利用別面積
AREAK	MAIN	TNK4	(10)	各湖沼水域面積
RAV	RECALC	TNK5	(8, 12, 31)	各流域平均日雨量
EAV	RECALC	TNK5	(8, 12, 31)	各流域平均蒸発計蒸発量
RAVK	RECALC	TNK5	(8, 12, 31)	各湖沼平均日雨量
EAVK	RECALC	TNK5	(8, 12, 31)	各湖沼平均蒸発計蒸発量
QO1	HAISUI	TNK6	(10)	各流域未処理区排水量
QO2	HAISUI	TNK6	(10)	各流域処理区排水量
QO3	HAISUI	TNK6	(10)	各流域処理場放流量
LO1	HAISUI	TNK6	(3, 10)	各流域未処理区排出負荷量
LO2	HAISUI	TNK6	(3, 10)	各流域処理区排出負荷量
LO3	HAISUI	TNK6	(3, 10)	各流域処理場放流負荷量
QST	QS	TNK7	(8, 3, 12, 31)	各流域取水位置別都市用水取水水量
QSN	QS	TNK7	(8, 3, 12, 31)	各流域取水位置別農水取水水量
QSTK	MAIN	TNK7	(8, 12, 31)	各流域湖沼都市用水取水水量
QSNK	MAIN	TNK7	(8, 12, 31)	各流域湖沼農水取水水量
TL	MAIN	TNK10	(6, 10, 4)	各タンク孔高さ
TA	MAIN	TNK10	(6, 10, 4)	各タンク孔乗数
HT	TANKH	TNK10	(8, 6, 12, 31)	各タンク水位
TOTK	TANKH	TNK10	(8, 6, 12, 31)	各タンク河川流出高
TOTKAL	TANKH	TNK10	(8, 12, 31)	各タンク全流出高
QOTK1	TANKH	TNK10	(8, 6, 12, 31)	各タンク河川流出流量
QOTK2	TANKH	TNK10	(8, 6, 12, 31)	各タンク地下浸透流量
TIN	TANKH	—	(6)	各タンク流入高
TOT	TANKH	—	(6, 4)	各タンク孔流出高
VAL	KOSHOH	TNK8	(12, 31)	湖沼日容量
HAL	KOSHOH	TNK8	(12, 31)	湖沼日水位
QMV	KOSHOH	TNK8	(8, 12, 31)	湖沼水域日移動水量
VK	KOSHOH	TNK8	(8, 12, 31)	各湖沼水域日容量
QKAL	KOSHOH	TNK8	(12, 31)	湖沼への河川流入量
QOUT	KOSHOH	TNK8	(12, 31)	湖沼からの放流量
HUP	HSET	TNK17	(12, 31)	日上限水位
HDWN	HSET	TNK17	(12, 31)	日下限水位
QKIN	KOSHOH	—	(10)	各湖沼水域への流域流入水量
VINK	KOSHOH	—	(10)	各湖沼水域全流入量
VOTK	KOSHOH	—	(10)	各湖沼水域全流出量
QUND	KOSHOH	—	—	湖沼地下浸透流入量
LA	MAIN	TNK12	(3, 6, 10)	流域別タンク別負荷流出係数
LB	MAIN	TNK12	(3, 6, 10)	流域別タンク別負荷流出係数
LD	MAIN	TNK12	(3, 6, 10)	流域別タンク別負荷流出係数
QC	MAIN	TNK12	(3, 6, 10)	流域別タンク別限界掃流量
RK	MAIN	TNK12	—	減少係数

変 数 名	定義ルーチン	定 義 文 (COMMON)	配 列	内 容
LM	MAIN	TNK12	(3, 6, 10)	流域別タンク別負荷浸透係数
LN	MAIN	TNK12	(3, 6, 10)	流域別タンク別負荷浸透係数
STK	STFUKA	TNK12	(3, 6, 10)	初期残存負荷量
LT	FUKA	TNK12	(3, 6, 8, 372)	流域別タンク別残存負荷量
CT	FUKA	TNK12	(3, 6, 8, 372)	流域別タンク別日流出水質
LOUT	FUKA	TNK12	(8, 3, 12, 31)	各流域河川日流出負荷量
LUND	FUKA	TNK12	(8, 3, 12, 31)	各流域地下日浸透負荷量
LTIN	FUKA	-	(3, 6)	各タンク流入負荷量
LTOT	FUKA	-	(3, 6, 2)	各タンク流出負荷量
TDLK	QS	TNK13	(8, 3, 12, 31)	各湖沼水域内部負荷量
CL	FUKA	TNK13	(3, 8, 372)	各湖沼水域日水質
LL	FUKA	TNK13	(3, 8, 372)	各湖沼水域日滞留負荷量
LR	FUKA	-	(10)	各湖沼水域降雨負荷量
LAM	FUKA	-	(10)	各湖沼水域網生質負荷量
CMU	FUKA	-	(10)	各湖沼水域移動負荷量
LLIN	FUKA	-	(10)	各湖沼水域流入負荷量
LLOT	FUKA	-	(10)	各湖沼水域流出負荷量
CR	MAIN	TNK14	(3)	雨水水質

付録 B.3 プログラム・リスト

```

C      *****   スイリヨウ スイシツ シ"ンカン モデル   *****
C
000001  REAL      L01,L02,L03
000002  REAL      LA,LB,LD,LM,LN,LT,LOUT
000003  REAL      LL
000004  DIMENSION  IRT(32),QDMY( 8,3,12,31)
000005  COMMON /TNK0 / TITLE(20)
000006  COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000007  COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000008  COMMON /TNK3 / NIN(10),NINB(10,10),NOTB(10),KSHNO(10),KSHMAX
000009  COMMON /TNK4 / AREA(6,10),AREAK(10)
000010  COMMON /TNK5 / TISR(10,20),TISRK(10,20),TISE(10,20),TISEK(10,20)
*          ,RS(10,12,31),ES(10,12,31),COEEV(4),RAV( 8,12,31)
*          ,EAV( 8,12,31),RAVK( 8,12,31),EAVK( 8,12,31)
000011  COMMON /TNK6 / FLM1(4,10),FLM2(4,10),QGEN(4)
*          ,COEQ01(4,10),COEQ02(4,10),Q01(10),Q02(10),Q03(10)
*          ,GNLF(3,4),C03(3,10),COELO1(3,4,10)
*          ,COELO2(3,4,10),L01(3,10),L02(3,10),L03(3,10)
000012  COMMON /TNK7 / QST( 8,3,12,31),QSN( 8,3,12,31),QSTK( 8,12,31)
*          ,QSNK( 8, 8,12,31),QSNKAL( 8,12,31)
000013  COMMON /TNK8 / IHV,IEHV,HH(10,11),VV(10,11),HST,VST,VSTK(10)
*          ,VAL(12,31),HAL(12,31),QMV( 8,12,31),QTAL(12,31)
*          ,VK( 8,12,31),QKAL(12,31),QOUT(12,31)
000014  COMMON /TNK10/ TL(6,10,4),TA(6,10,4),TLI(6,10),HT( 8,6,12,31)
*          ,TOTK( 8,6,12,31),TOTKAL( 8,12,31)
*          ,QOTK1( 8,6,12,31),QOTK2( 8,6,12,31)
000015  COMMON /TNK11/ KNGM1(10),KNGN1(10),KNGM2(10),KNGN2(10),NUM(12,31)
*          ,COEKN(12,31),COEKNG(10),KNGMAX,ITEV
000016  COMMON /TNK12/ LA(3,6,10),LB(3,6,10),LD(3,6,10),QC(3,6,10),RK
*          ,LM(3,6,10),LN(3,6,10),GNLT(3,3),CKS(3,10)
*          ,CGS(5,3,10),STK(3,6,10),LT(3,6, 8,372),NSTL(10)
*          ,CT(3,6, 8,372),LOUT( 8,3,12,31),LUND(8,3,12,31)
000017  COMMON /TNK13/ FLMAM(10),GNLA(3),PTNAM(12),TDLK( 8,3,12,31)
*          ,CLS(3,10),CL(3, 8,372),LL(3, 8,372),CBK(3)
000018  COMMON /TNK14/ CR(3)
000019  COMMON /TNK15/ MXK,MXKK,MXI,IPK(10),IPKK(10),IPI(10)
000020  COMMON /TNK17/ HUP(12,31),HDWN(12,31),IHSW,IQREL
000021  DATA IDAY/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31/

C
000022  1 FORMAT(20A4)
000023  2 FORMAT(16I5)
000024  3 FORMAT(8F10.0)
000025  4 FORMAT(16F5.0)
000026  5 FORMAT(4I5,F10.0)
000027  6 FORMAT(8E10.3)

C
C      *** INPUT ***
C
000028  ICASE=0
000029  100 READ(5,2,END=999) IRT
000030  ICASE=ICASE+1
000031  IF(IRT(1).EQ.0) GO TO 201
000032  READ(5,1) TITLE
000033  201 IF(IRT(2).EQ.0) GO TO 202
000034  IF(IRT(2).EQ.2) NST=NST+1
000035  IF(IRT(2).EQ.2) GO TO 202
000036  READ(5,2) KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX,NST
000037  READ(5,2) KSHMAX
000038  IF(KSHMAX.NE.0) READ(5,2) (KSHNO(K),K=1,KSHMAX)
000039  202 IF(IRT(3).EQ.0) GO TO 203
000040  READ(5,2) (NIN(K),K=1,KKMAX)
000041  IF(KKMAX.EQ.1) GO TO 203
000042  DO 7 K=1,KKMAX
000043  IF(NIN(K).EQ.0) GO TO 7
000044  IN=NIN(K)
000045  READ(5,2) (NINB(K,I),I=1,IN)
000046  7 CONTINUE
000047  READ(5,2) (NOTB(K),K=1,KKMAX-1)
000048  203 IF(IRT(4).EQ.0) GO TO 204
000049  DO 10 K=1,KMAX
000050  10 READ(5,3) (AREA(I,K),I=1,6)
000051  READ(5,3) (AREAK(K),K=1,KKMAX)
000052  204 IF(IRT(5).EQ.0) GO TO 205
000053  DO 20 K=1,KMAX
000054  20 READ(5,3) (TISR(K,J),J=1,IRMAX)
000055  DO 21 K=1,KKMAX
000056  21 READ(5,3) (TISRK(K,J),J=1,IRMAX)
000057  205 IF(IRT(6).EQ.0) GO TO 206
000058  DO 22 K=1,KMAX
000059  22 READ(5,3) (TISE(K,J),J=1,IEMAX)
000060  DO 23 K=1,KKMAX
000061  23 READ(5,3) (TISEK(K,J),J=1,IEMAX)
000062  206 IF(IRT(7).EQ.0) GO TO 207
000063  DO 30 I=1,IRMAX
000064  DO 30 M=1,12
000065  30 READ(5,3) (RS(I,M,N),N=1,31)
000066  207 IF(IRT(8).EQ.0) GO TO 208
000067  DO 40 I=1,IEMAX
000068  DO 40 M=1,12

```

```

000069      40 READ(5,3) (ES(I,M,N),N=1,31)
000070      208 IF(IRT(9).EQ.0) GO TO 209
000071          DO 50 K=1,KMAX
000072              50 READ(5,3) (FLM1(I,K),I=1,4)
000073      209 IF(IRT(10).EQ.0) GO TO 210
000074          DO 51 K=1,KMAX
000075              51 READ(5,3) (FLM2(I,K),I=1,4)
000076      210 IF(IRT(11).EQ.0) GO TO 211
000077          CALL QS(QST,KMAX,3)
000078      211 IF(IRT(12).EQ.0) GO TO 212
000079          CALL QS(QSN,KMAX,3)
000080      212 IF(IRT(13).EQ.0) GO TO 213
000081          CALL QS(QDMY,KKMAX,1)
000082          DO 60 M=1,12
000083          DO 60 N=1,31
000084          DO 60 K=1,KKMAX
000085              60 QSTK(K,M,N)=QDMY(K,1,M,N)
000086      213 IF(IRT(14).EQ.0) GO TO 214
000087          DO 70 K=1,KMAX
000088          CALL QS(QDMY,KKMAX,1)
000089          DO 70 M=1,12
000090          DO 70 N=1,31
000091          DO 70 KK=1,KKMAX
000092              70 QSNK(K,KK,M,N)=QDMY(KK,1,M,N)
000093      214 IF(IRT(15).EQ.0) GO TO 215
000094          READ(5,2) IHV,IEXHV
000095          DO 80 K=1,KKMAX+1
000096          DO 80 I=1,IHV
000097              80 READ(5,3) HH(I,K),VV(I,K)
000098      215 IF(IRT(16).EQ.0) GO TO 216
000099          READ(5,3) (QO3(K),K=1,KMAX)
000100      216 IF(IRT(17).EQ.0) GO TO 217
000101          DO 110 I=1,6
000102          DO 101 K=1,KMAX
000103      101 READ(5,3) (TL(I,K,J),J=1,4)
000104          DO 102 K=1,KMAX
000105      102 READ(5,3) (TA(I,K,J),J=1,4)
000106          IF(IRT(17).EQ.2) GO TO 103
000107          READ(5,3) (TLI(I,K),K=1,KMAX)
000108          GO TO 110
000109      103 CONTINUE
000110          DO 104 K=1,KMAX
000111      104 TLI(I,K)=HT(K,I,12,31)
000112      110 CONTINUE
000113      217 IF(IRT(18).EQ.0) GO TO 218
000114          READ(5,2) KNGMAX,ITEV
000115          DO 111 K=1,KNGMAX
000116      111 READ(5,5) KNGM1(K),KNGN1(K),KNGM2(K),KNGN2(K),COEKNG(K)
000117      218 IF(IRT(19).EQ.0) GO TO 219
000118          READ(5,3) (COEEV(I),I=1,4)
000119      219 IF(IRT(20).EQ.0) GO TO 220
000120          READ(5,3) (QGEN(I),I=1,4)
000121          DO 120 I=1,4
000122      120 READ(5,3) (COEQO1(I,K),K=1,KMAX)
000123          DO 121 I=1,4
000124      121 READ(5,3) (COEQO2(I,K),K=1,KMAX)
000125      220 IF(IRT(21).EQ.0) GO TO 221
000126          IF(IRT(21).EQ.1) READ(5,3) HST
000127          IF(IRT(21).EQ.2) HST=HAL(12,31)
000128          CALL TABLE(IHV,HH,VV,KKMAX+1,HST,VST)
000129          DO 125 K=1,KKMAX
000130          CALL TABLE(IHV,HH,VV,K,HST,VSTK(K))
000131      125 CONTINUE
000132      221 IF(IRT(22).EQ.0) GO TO 227
000133          IF(IRT(22).LE.2) GO TO 222
000134          READ(5,3) RK
000135          DO 131 J=1,3
000136          DO 130 I=1,3
000137              READ(5,6) (LA(J,I,K),K=1,KMAX)
000138              READ(5,6) (LB(J,I,K),K=1,KMAX)
000139              READ(5,6) (LD(J,I,K),K=1,KMAX)
000140              READ(5,6) (QC(J,I,K),K=1,KMAX)
000141              READ(5,6) (LM(J,I,K),K=1,KMAX)
000142              READ(5,6) (LN(J,I,K),K=1,KMAX)
000143      130 CONTINUE
000144          READ(5,6) (LA(J,6,K),K=1,KMAX)
000145          READ(5,6) (LB(J,6,K),K=1,KMAX)
000146          READ(5,6) (LD(J,6,K),K=1,KMAX)
000147          READ(5,6) (QC(J,6,K),K=1,KMAX)
000148          READ(5,6) (LM(J,6,K),K=1,KMAX)
000149          READ(5,6) (LN(J,6,K),K=1,KMAX)
000150      131 CONTINUE
000151          READ(5,2) (NSTL(K),K=1,KMAX)
000152      222 IF(IRT(23).EQ.0) GO TO 223
000153          READ(5,3) (CR(J),J=1,3)
000154      223 IF(IRT(24).EQ.0) GO TO 224
000155          DO 135 J=1,3
000156      135 READ(5,3) (GNLT(J,L),L=1,3)
000157          DO 140 J=1,3
000158      140 READ(5,3) (GNLF(J,L),L=1,4)
000159          DO 141 J=1,3
000160      141 READ(5,3) (CO3(J,K),K=1,KMAX)

```

```

000161      DO 143 J=1,3
000162      DO 143 I=1,4
000163      143 READ(5,3) (COELO1(J,I,K),K=1,KMAX)
000164      DO 144 J=1,3
000165      DO 144 I=1,4
000166      144 READ(5,3) (COELO2(J,I,K),K=1,KMAX)
000167      224 IF(IRT(25).EQ.0) GO TO 225
000168      READ(5,3) (FLMAM(K),K=1,KKMAX)
000169      READ(5,3) (GNLA(I),I=1,3)
000170      READ(5,3) (PTNAM(M),M=1,12)
000171      225 IF(IRT(26).EQ.0) GO TO 226
000172      CALL QS(TDLK,KKMAX,3)
000173      226 IF(IRT(27).EQ.0) GO TO 227
000174      IF(IRT(27).EQ.2) GO TO 153
000175      DO 150 J=1,3
000176      150 READ(5,3) (CKS(J,K),K=1,KMAX)
000177      DO 151 I=4,5
000178      DO 151 J=1,3
000179      151 READ(5,3) (CGS(I,J,K),K=1,KMAX)
000180      DO 152 J=1,3
000181      152 READ(5,3) (CLS(J,K),K=1,KKMAX)
000182      GO TO 157
000183      153 CONTINUE
000184      DO 156 J=1,3
000185      DO 154 K=1,KMAX
000186      CKS(J,K)=CT(J,6,K,NISB)
000187      DO 154 I=4,5
000188      154 CGS(I,J,K)=CT(J,I,K,NISB)
000189      DO 155 K=1,KKMAX
000190      155 CLS(J,K)=CL(J,K,NISB)
000191      156 CONTINUE
000192      157 READ(5,3) (CBK(J),J=1,3)
000193      227 IF(IRT(28).EQ.0) GO TO 228
000194      READ(5,2) MXK,MXKK,MXI
000195      READ(5,2) (IPK(M),M=1,10)
000196      READ(5,2) (IPKK(M),M=1,10)
000197      READ(5,2) (IPI(M),M=1,10)
000198      228 IF(IRT(29).EQ.0) GO TO 240
000199      READ(5,2) IHSW
000200      IF(IHSW.EQ.1) GO TO 229
000201      CALL HSET(HUP)
000202      CALL HSET(HDWN)
000203      GO TO 240
000204      229 DO 230 M=1,12
000205      230 READ(5,3) (QOUT(M,N),N=1,31)
C
C      ***** ケイソ *****
C
000206      240 IDAY(2)=28
000207      IF((NST+1)/4*.EQ.NST+1) IDAY(2)=29
000208      NIS=0
000209      DO 250 M=1,12
000210      IDN=IDAY(M)
000211      DO 250 N=1,IDN
000212      NIS=NIS+1
000213      NBM(NIS)=M
000214      NBN(NIS)=N
000215      NUM(M,N)=NIS
000216      250 CONTINUE
000217      CALL RECALC(KMAX,IRMAX,RS,TISR,RAV)
000218      CALL RECALC(KMAX,IEMAX,ES,TISE,EAV)
000219      CALL RECALC(KKMAX,IRMAX,RS,TISRK,RAVK)
000220      CALL RECALC(KKMAX,IEMAX,ES,TISEK,EAVK)
000221      CALL HAISUI(IRT(22))
000222      IF(IRT(22).NE.0) CALL STFUKA(IRT(22))
000223      CALL TANKH
000224      CALL KOSHOH
000225      IF(IRT(22).EQ.0) GO TO 260
000226      CALL FUKA
000227      260 IF(IRT(30).NE.0) CALL JOHKEN(IRT(22))
000228      IF(IRT(31).NE.0) CALL PRINT(IRT(22),IRT(31))
C
000229      NISB=NIS
000230      GO TO 100
000231      999 STOP
000232      END

```

```

000233      SUBROUTINE QS(Q,KMAX,IMAX)
000234      DIMENSION Q( 8,3,12,31),IQMAX(10,3),ISW(10),QM(12),QQ( 8,12,31)
000235      1 FORMAT(16I5)
000236      2 FORMAT(8F10.0)

C
000237      DO 10 I=1,IMAX
000238      10 READ(5,1) (IQMAX(K,I),K=1,KMAX)
000239      DO 40 K=1,KMAX
000240      DO 40 I=1,IMAX
000241      JMAX=IQMAX(K,I)
000242      DO 20 M=1,12
000243      DO 20 N=1,31
000244      20 Q(K,I,M,N)=0.
000245      IF(JMAX.EQ.0) GO TO 40
000246      READ(5,1) (ISW(J),J=1,JMAX)
000247      DO 30 J=1,JMAX
000248      GO TO (21,23,25),ISW(J)
000249      21 READ(5,2) QN
000250      DO 22 M=1,12
000251      DO 22 N=1,31
000252      22 QQ(J,M,N)=QN
000253      GO TO 30
000254      23 READ(5,2) (QM(M),M=1,12)
000255      DO 24 M=1,12
000256      DO 24 N=1,31
000257      24 QQ(J,M,N)=QM(M)
000258      GO TO 30
000259      25 CONTINUE
000260      DO 26 M=1,12
000261      26 READ(5,2) (QQ(J,M,N),N=1,31)
000262      30 CONTINUE
000263      DO 35 M=1,12
000264      DO 35 N=1,31
000265      DO 35 J=1,JMAX
000266      35 Q(K,I,M,N)=Q(K,I,M,N)+QQ(J,M,N)
000267      40 CONTINUE
000268      RETURN
000269      END

000270      SUBROUTINE HSET(H)
000271      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000272      COMMON /TNK11/ KNGM1(10),KNGN1(10),KNGM2(10),KNGN2(10),NUM(12,31)
000273      *      ,COEKN(12,31),COEKNG(10),KNGMAX,ITEV
000274      DIMENSION H(12,31),IM(10),IN(10),HH(10)
000275      READ(5,1) IMAX
000276      DO 100 I=1,IMAX
000277      100 READ(5,1) IM(I),IN(I),HH(I)
000278      1 FORMAT(2I5,F10.3)
000279      NN=0
000280      DO 300 M=1,12
000281      DO 300 N=1,IDAY(M)
000282      NN=NN+1
000283      DO 110 I=2,IMAX
000284      IF(NUM(IM(I),IN(I)).GE.NN) GO TO 120
000285      110 CONTINUE
000286      I=IMAX
000287      120 H(M,N)=HH(I-1)+FLOAT(NN-NUM(IM(I-1),IN(I-1)))*(HH(I)-HH(I-1))
000288      *      /FLOAT(NUM(IM(I),IN(I))-NUM(IM(I-1),IN(I-1)))
000289      300 CONTINUE
000290      RETURN
000291      END

000292      SUBROUTINE RECALC(KMAX,IMAX,A,B,AV)
000293      DIMENSION AV( 8,12,31),A(10,12,31),B(10,20)
000294      DO 310 K=1,KMAX
000295      DO 310 M=1,12
000296      DO 310 N=1,31
000297      AV(K,M,N)=0.
000298      DO 310 I=1,IMAX
000299      AV(K,M,N)=AV(K,M,N)+A(I,M,N)*B(K,I)
000300      310 CONTINUE
000301      RETURN
000302      END

000303      SUBROUTINE HAISUI(IR)
000304      REAL L01,L02,L03
000305      COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000306      COMMON /TNK6 / FLM1(4,10),FLM2(4,10),QGEN(4)
000307      *      ,COEQ01(4,10),COEQ02(4,10),Q01(10),Q02(10),Q03(10)
000308      *      ,GNLF(3,4),C03(3,10),COEL01(3,4,10)
000309      *      ,COEL02(3,4,10),L01(3,10),L02(3,10),L03(3,10)
000310      DO 322 K=1,KMAX
000311      Q01(K)=0.
000312      Q02(K)=0.
000313      DO 320 I=1,4
000314      Q01(K)=Q01(K)+QGEN(I)*FLM1(I,K)*COEQ01(I,K)/86400.

```

```

000310      Q02(K)=Q02(K)+QGEN(I)*FLM2(I,K)*COEQ02(I,K)/86400.
000311 320 CONTINUE
000312      IF(IR.EQ.0) GO TO 322
000313      DO 321 J=1,3
000314          L01(J,K)=0.
000315          L02(J,K)=0.
000316          L03(J,K)=Q03(K)*C03(J,K)*86400.
000317      DO 321 I=1,4
000318          L01(J,K)=L01(J,K)+GNLF(J,I)*FLM1(I,K)*COEL01(J,I,K)
000319          L02(J,K)=L02(J,K)+GNLF(J,I)*FLM2(I,K)*COEL02(J,I,K)
000320 321 CONTINUE
000321 322 CONTINUE
000322      RETURN
000323      END

000324      SUBROUTINE TANKH
000325      REAL      L01,L02,L03
000326      DIMENSION DE(8),HTB(6),TIN(6),TOT(6,4),TOTAL(6),HTA(6)
000327      COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000328      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000329      COMMON /TNK4 / AREA(6,10),AREAK(10)
000330      COMMON /TNK5 / TISR(10,20),TISRK(10,20),TISE(10,20),TISEK(10,20)
000331      *      ,RS(10,12,31),ES(10,12,31),COEEV(4),RAV( 8,12,31)
000332      *      ,EAV( 8,12,31),RAVK( 8,12,31),EAVK( 8,12,31)
000333      *      COMMON /TNK6 / FLM1(4,10),FLM2(4,10),QGEN(4)
000334      *      ,COEQ01(4,10),COEQ02(4,10),Q01(10),Q02(10),Q03(10)
000335      *      ,GNLF(3,4),C03(3,10),COEL01(3,4,10)
000336      *      ,COEL02(3,4,10),L01(3,10),L02(3,10),L03(3,10)
000337      *      COMMON /TNK7 / QST( 8,3,12,31),QSN( 8,3,12,31),QSTK( 8,12,31)
000338      *      ,QSNK( 8, 8,12,31),QSNKAL( 8,12,31)
000339      *      COMMON /TNK10/ TL(6,10,4),TA(6,10,4),TLI(6,10),HT( 8,6,12,31)
000340      *      ,TOTK( 8,6,12,31),TOTKAL( 8,12,31)
000341      *      ,QOTK1( 8,6,12,31),QOTK2( 8,6,12,31)
000342      *      COMMON /TNK11/ KNGM1(10),KNGN1(10),KNGM2(10),KNGN2(10),NUM(12,31)
000343      *      ,COEKN(12,31),COEKNG(10),KNGMAX,ITEV

000335      C      NIS=0
000336      DO 600 M=1,12
000337          IDN=IDAY(M)
000338          DO 600 N=1,IDN
000339              NIS=NIS+1
000340          DO 402 K=1,KNGMAX
000341              K1=KNGM1(K)
000342              K2=KNGN1(K)
000343              K3=KNGM2(K)
000344              K4=KNGN2(K)
000345              IF(NIS.GE.NUM(K1,K2).AND.NIS.LE.NUM(K3,K4)) GO TO 401
000346              GO TO 402
000347          401 COEKN(M,N)=COEKNG(K)
000348          402 CONTINUE
000349          DO 600 K=1,KMAX
000350              DO 430 I=1,6
000351                  DE(I)=0.
000352                  IF(N.EQ.1) GO TO 410
000353                  HTB(I)=HT(K,I,M,N-1)
000354                  GO TO 430
000355          410 IF(M.EQ.1) GO TO 420
000356                  IDN1=IDAY(M-1)
000357                  HTB(I)=HT(K,I,M-1,IDN1)
000358                  GO TO 430
000359          420 HTB(I)=TLI(I,K)
000360          430 CONTINUE
000361              DO 550 I=1,6
000362                  IF(I.EQ.1.OR.I.EQ.3) TIN(I)=RAV(K,M,N)-EAV(K,M,N)*COEEV(I)
000363                  IF(I.EQ.2) GO TO 435
000364                  IF(I.EQ.4) GO TO 440
000365                  IF(I.EQ.5) TIN(I)=TOT(4,4)-(QST(K,2,M,N)+QSN(K,2,M,N)*COEKN(M,N))
000366                  *      *86.4/AREA(4,K)
000367                  IF(I.EQ.6) GO TO 460
000368                  GO TO 480
000369          435 TIN(I)=RAV(K,M,N)-EAV(K,M,N)*COEEV(I)
000370                  DO 436 J=1,3
000371                      TIN(I)=TIN(I)+QSN(K,J,M,N)*COEKN(M,N)*86.4/AREA(I,K)
000372                  DO 437 J=1,KKMAX
000373                      TIN(I)=TIN(I)+QSNK(K,J,M,N)*COEKN(M,N)*86.4/AREA(I,K)
000374                  GO TO 480
000375          440 TIN(I)=0.
000376                  DO 450 J=1,3
000377                      TIN(I)=TIN(I)+TOT(J,4)*AREA(J,K)/AREA(4,K)
000378                      TIN(I)=TIN(I)-(QST(K,1,M,N)+QSN(K,1,M,N)*COEKN(M,N))
000379                      *      *86.4/AREA(4,K)
000380                  GO TO 480
000381          460 TIN(I)=0.
000382                  DO 470 J=1,5
000383                      DO 470 L=1,3
000384                          TIN(I)=TIN(I)+TOT(J,L)*AREA(J,K)/86.4
000385                          GO TO 500
000386          480 TOTAL(I)=0.
000387                  DO 490 L=1,4
000388                      DH=HTB(I)-TL(I,K,L)

```

```

000387      TOT(I,L)=TA(I,K,L)*AMAX1(DH,0.0)
000388      TOTAL(I)=TOTAL(I)+TOT(I,L)
000389  490 CONTINUE
000390      HTA(I)=HTB(I)-TOTAL(I)
000391      HT(K,I,M,N)=HTA(I)+TIN(I)+DE(I)
000392      IF(HT(K,I,M,N).GE.0.0) GO TO 520
000393      IF(ITEV.NE.1) GO TO 492
000394      IF(I.LE.3) DE(4)=0.0
000395      IF(I.GT.3) DE(I+1)=0.0
000396      GO TO 494
000397  492 IF(I.LE.3) DE(4)=DE(4)+HT(K,I,M,N)*AREA(I,K)/AREA(4,K)
000398      IF(I.GT.3) DE(I+1)=HT(K,I,M,N)
000399      IF(ITEV.EQ.3) GO TO 496
000400  494 DE(5)=0.0
000401  496 DE(6)=0.0
000402      HT(K,I,M,N)=0.0
000403      GO TO 520
000404  500 TOTAL(I)=0.0
000405      HT(K,I,M,N)=HTB(I)+TIN(I)+Q01(K)+Q02(K)+Q03(K)
000406      DO 510 L=1,4
000407      DH=HT(K,I,M,N)-TL(I,K,L)
000408      TOT(I,L)=TA(I,K,L)*AMAX1(DH,0.0)
000409      TOTAL(I)=TOTAL(I)+TOT(I,L)
000410  510 CONTINUE
000411      HT(K,I,M,N)=HT(K,I,M,N)-TOTAL(I)
000412      IF(HT(K,I,M,N).LT.0.0) HT(K,I,M,N)=0.0
000413  520 TOTK(K,I,M,N)=TOT(I,1)+TOT(I,2)+TOT(I,3)
000414      AA=AREA(I,K)/86.4
000415      IF(I.EQ.5) AA=AREA(4,K)/86.4
000416      IF(I.EQ.6) AA=1.0
000417      QOTK1(K,I,M,N)=TOTK(K,I,M,N)*AA
000418      QOTK2(K,I,M,N)=TOT(I,4)*AA
000419      IF(I.EQ.6) QOTK1(K,I,M,N)=QOTK1(K,I,M,N)
*          -QST(K,3,M,N)-QSN(K,3,M,N)*COEKN(M,N)
000420      IF(QOTK1(K,I,M,N).LE.0.0) QOTK1(K,I,M,N)=0.0
000421  550 CONTINUE
000422      TOTKAL(K,M,N)=TIN(6)
000423  600 CONTINUE
000424      RETURN
000425      END

000426      SUBROUTINE KOSHOH
000427      DIMENSION QRAVK(10),QEAVK(10),QKIN(10),VK1(10),VINK(10),VOTK(10)
000428      COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000429      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000430      COMMON /TNK3 / NIN(10),NINB(10,10),NOTB(10),KSHNQ(10),KSHMAX
000431      COMMON /TNK4 / AREA(6,10),AREAK(10)
000432      COMMON /TNK5 / TISR(10,20),TISRK(10,20),TISE(10,20),TISEK(10,20)
*          ,RS(10,12,31),ES(10,12,31),COEEV(4),RAV( 8,12,31)
*          ,EAV( 8,12,31),RAVK( 8,12,31),EAVK( 8,12,31)
000433      COMMON /TNK7 / QST( 8,3,12,31),QSN( 8,3,12,31),QSTK( 8,12,31)
*          ,QSNK( 8, 8,12,31),QSNKAL( 8,12,31)
000434      COMMON /TNK8 / IHV,IEXHV,HH(10,11),VV(10,11),HST,VST,VSTK(10)
*          ,VAL(12,31),HAL(12,31),QMV( 8,12,31),QTAL(12,31)
*          ,VK( 8,12,31),QKAL(12,31),QOUT(12,31)
000435      COMMON /TNK10/ TL(6,10,4),TA(6,10,4),TLI(6,10),HT( 8,6,12,31)
*          ,TOTK( 8,6,12,31),TOTKAL( 8,12,31)
*          ,QOTK1( 8,6,12,31),QOTK2( 8,6,12,31)
000436      COMMON /TNK11/ KNGM1(10),KNGN1(10),KNGM2(10),KNGN2(10),NUM(12,31)
*          ,COEKN(12,31),COEKNG(10),KNGMAX,ITEV
000437      COMMON /TNK17/ HUP(12,31),HDWN(12,31),IHSW,IQREL

000438      C
000438      NIS=0
000439      DO 800 M=1,12
000440      IDN=IDAY(M)
000441      DO 800 N=1,IDN
000442      QINAL=0.0
000443      QOTAL=0.0
000444      QUND=0.0
000445      QSTAL=0.0
000446      QKAL(M,N)=0.0
000447      QTAL(M,N)=0.0
000448      NIS=NIS+1
000449      DO 620 KK=1,KKMAX
000450      QSNKAL(KK,M,N)=0.0
000451      DO 610 K=1,KMAX
000452  610 QSNKAL(KK,M,N)=QSNKAL(KK,M,N)+QSNK(K,KK,M,N)*COEKN(M,N)
000453      QRAVK(KK)=RAVK(KK,M,N)*AREAK(KK)/86.4
000454      QEAVK(KK)=EAVK(KK,M,N)*AREAK(KK)/86.4*COEEV(4)
000455      QKIN(KK)=QOTK1(KK,6,M,N)+QOTK2(KK,5,M,N)
000456      QSTAL=QSTAL+QSTK(KK,M,N)
000457      QINAL=QINAL+QRAVK(KK)
000458      QOTAL=QOTAL+QEAVK(KK)+QSNKAL(KK,M,N)+QSTK(KK,M,N)
000459  620 CONTINUE
000460      IF(KSHMAX.EQ.0) GO TO 640
000461      DO 630 J=1,KSHMAX
000462      JJ=KSHNO(J)
000463      QKAL(M,N)=QKAL(M,N)+QOTK1(JJ,6,M,N)
000464  630 QUND=QUND+QOTK2(JJ,5,M,N)
000465  640 QINAL=QINAL+QKAL(M,N)+QUND

```

```

000466      QTAL(M,N)=QINAL-QOTAL
000467      C      IF(IHSW.EQ.1) GO TO 645
000468      C
000468      1600 IF(N.EQ.1) GO TO 1650
000469      VAL1=VAL(M,N-1)
000470      GO TO 1670
000471      1650 IF(M.EQ.1) GO TO 1660
000472      VAL1=VAL(M-1,IDAY(M-1))
000473      GO TO 1670
000474      1660 VAL1=VST
000475      1670 VAL2=VAL1+(QINAL-QOTAL)*86400.*10.0*(-IEXHV)
000476      CALL TABLE(IHV,VV,HH,KKMAX+1,VAL2,HAL2)
000477      IF(HAL2.GT.HUP(M,N)) GO TO 2600
000478      IF(HAL2.LT.HDOWN(M,N)) GO TO 2700
000479      QOUT(M,N)=0.0
000480      HAL(M,N)=HAL2
000481      VAL(M,N)=VAL2
000482      GO TO 675
000483      2600 HAL(M,N)=HUP(M,N)
000484      CALL TABLE(IHV,HH,VV,KKMAX+1,HUP(M,N),VAL(M,N))
000485      QOUT(M,N)=(VAL2-VAL(M,N))*10.0*IEXHV/86400.
000486      GO TO 675
000487      2700 VAL3=VAL1+(QINAL-QOTAL+QSTAL)*86400.*10.0*(-IEXHV)
000488      CALL TABLE(IHV,VV,HH,KKMAX+1,VAL3,HAL3)
000489      IF(HAL3.LT.HDOWN(M,N)) GO TO 2800
000490      HAL(M,N)=HDOWN(M,N)
000491      CALL TABLE(IHV,HH,VV,KKMAX+1,HAL(M,N),VAL(M,N))
000492      QOUT(M,N)=0.0
000493      GO TO 675
000494      2800 HAL(M,N)=HAL3
000495      CALL TABLE(IHV,HH,VV,KKMAX+1,HAL(M,N),VAL(M,N))
000496      QOUT(M,N)=0.0
000497      GO TO 675
000498      C
000498      645 QOTAL=QOTAL+QOUT(M,N)
000499      C
000499      IF(N.EQ.1) GO TO 650
000500      VAL1=VAL(M,N-1)
000501      GO TO 670
000502      650 IF(M.EQ.1) GO TO 660
000503      VAL1=VAL(M-1,IDAY(M-1))
000504      GO TO 670
000505      660 VAL1=VST
000506      670 VAL(M,N)=VAL1+(QINAL-QOTAL)*86400.*10.0*(-IEXHV)
000507      CALL TABLE(IHV,VV,HH,KKMAX+1,VAL(M,N),HAL(M,N))
000508      C
000508      675 DO 720 KK=1,KKMAX
000509      IF(N.EQ.1) GO TO 680
000510      CALL TABLE(IHV,HH,VV,KK,HAL(M,N-1),VK1(KK))
000511      GO TO 700
000512      680 IF(M.EQ.1) GO TO 690
000513      CALL TABLE(IHV,HH,VV,KK,HAL(M-1,IDAY(M-1)),VK1(KK))
000514      GO TO 700
000515      690 VK1(KK)=VSTK(KK)
000516      700 VINK(KK)=QKIN(KK)+QRAVK(KK)
000517      VOTK(KK)=QEAVK(KK)+QSNKAL(KK,M,N)+QSTK(KK,M,N)
000518      CALL TABLE(IHV,HH,VV,KK,HAL(M,N),VK(KK,M,N))
000519      DQ=(VINK(KK)-VOTK(KK))*86400.*10.0*(-IEXHV)
000520      QMV(KK,M,N)=(VK1(KK)+DQ-VK(KK,M,N))*10.0*IEXHV/86400.
000521      IF(NIN(KK).EQ.0) GO TO 720
000522      JN=NIN(KK)
000523      DO 710 J=1,JN
000524      710 QMV(KK,M,N)=QMV(KK,M,N)+QMV(NINB(KK,J),M,N)
000525      720 CONTINUE
000526      800 CONTINUE
000527      RETURN
000528      END

000529      SUBROUTINE TABLE(IMAX,AA,BB,J,A,B)
000530      DIMENSION AA(10,11),BB(10,11)
000531      DO 10 I=2,IMAX
000532      IF(AA(I,J).GE.A) GO TO 20
000533      10 CONTINUE
000534      I=IMAX
000535      20 B=BB(I-1,J)+(A-AA(I-1,J))*(BB(I,J)-BB(I-1,J))/(AA(I,J)-AA(I-1,J))
000536      RETURN
000537      END

```

```

000538      SUBROUTINE STFUKA(IR)
000539      REAL      LO1,LO2,LO3
000540      REAL      LA,LB,LC,LM,LN,LT,LOUT,LUND
000541      COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000542      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000543      COMMON /TNK4 / AREA(6,10),AREAK(10)
000544      COMMON /TNK6 / FLM1(4,10),FLM2(4,10),QGEN(4)
*           ,COEQ01(4,10),COEQ02(4,10),Q01(10),Q02(10),Q03(10)
*           ,GNLF(3,4),CO3(3,10),COELO1(3,4,10)
*           ,COELO2(3,4,10),LO1(3,10),LO2(3,10),LO3(3,10)
000545      COMMON /TNK12/ LA(3,6,10),LB(3,6,10),LD(3,6,10),QC(3,6,10),RK
*           ,LM(3,6,10),LN(3,6,10),GNLT(3,3),CKS(3,10)
*           ,CGS(5,3,10),STK(3,6,10),LT(3,6, 8,372),NSTL(10)
*           ,CT(3,6, 8,372),LOUT( 8,3,12,31),LUND(8,3,12,31)

C
000546      IF(IR.EQ.2) GO TO 830
000547      DO 820 K=1,KMAX
000548      DO 820 J=1,3
000549      DO 810 I=1,3
000550      FFF=GNLT(J,I)*AREA(I,K)*1000.
000551      STK(J,I,K)=NSTL(K)*FFF
000552      810 CONTINUE
000553      STK(J,6,K)=LO1(J,K)*NSTL(K)
000554      820 CONTINUE
000555      RETURN
000556      830 DO 850 K=1,KMAX
000557      DO 850 J=1,3
000558      DO 840 I=1,3
000559      840 STK(J,I,K)=LT(J,I,K,NISB)
000560      STK(J,6,K)=LT(J,6,K,NISB)
000561      850 CONTINUE
000562      RETURN
000563      END

000564      SUBROUTINE FUKA
000565      REAL      LO1,LO2,LO3
000566      REAL      LA,LB,LD,LM,LN,LT,LOUT,LUND
000567      REAL      LTB,LTIN,LTOT
000568      REAL      LL
000569      REAL      LR,LAM,LLB,LLOT,LLIN
000570      DIMENSION LTB(3,6,10),LTIN(3,6),CNS(3,3),CNSK(3,10),COT(6)
*           ,LTOT(3,6,2)
000571      DIMENSION CLB(10),LR(10),LAM(10),LLB(10),CMV(10),LLOT(10)
*           ,LLIN(10)
000572      COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000573      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000574      COMMON /TNK3 / NIN(10),NINB(10,10),NCIB(10),KSHNO(10),KSHMAX
000575      COMMON /TNK4 / AREA(6,10),AREAK(10)
000576      COMMON /TNK5 / TISR(10,20),TISRK(10,20),TISE(10,20),TISEK(10,20)
*           ,RS(10,12,31),ES(10,12,31),COEEV(4),RAV( 8,12,31)
*           ,EAV( 8,12,31),RAVK( 8,12,31),EAVK( 8,12,31)
000577      COMMON /TNK6 / FLM1(4,10),FLM2(4,10),QGEN(4)
*           ,COEQ01(4,10),COEQ02(4,10),Q01(10),Q02(10),Q03(10)
*           ,GNLF(3,4),CO3(3,10),COELO1(3,4,10)
*           ,COELO2(3,4,10),LO1(3,10),LO2(3,10),LO3(3,10)
000578      COMMON /TNK7 / QST( 8,3,12,31),QSN( 8,3,12,31),QSTK( 8,12,31)
*           ,QSNK( 8, 8,12,31),QSNKAL( 8,12,31)
000579      COMMON /TNK8 / IHV,IEXHV,HH(10,11),VV(10,11),HST,VST,VSTK(10)
*           ,VAL(12,31),KNGN1(12,31),QMV( 8,12,31),QTAL(12,31)
*           ,VK( 8,12,31),QKAL(12,31),QOUT(12,31)
000580      COMMON /TNK10/ TL(6,10,4),TA(6,10,4),TLI(6,10),HT( 8,6,12,31)
*           ,TOTK( 8,6,12,31),TOTKAL( 8,12,31)
*           ,QOTK1( 8,6,12,31),QOTK2( 8,6,12,31)
000581      COMMON /TNK11/ KNGM1(10),KNGN1(10),KNGM2(10),KNGN2(10),NUM(12,31)
*           ,COEKN(12,31),COEKNG(10),KNGMAX,ITEV
000582      COMMON /TNK12/ LA(3,6,10),LB(3,6,10),LD(3,6,10),QC(3,6,10),RK
*           ,LM(3,6,10),LN(3,6,10),GNLT(3,3),CKS(3,10)
*           ,CGS(5,3,10),STK(3,6,10),LT(3,6, 8,372),NSTL(10)
*           ,CT(3,6, 8,372),LOUT( 8,3,12,31),LUND(8,3,12,31)
000583      COMMON /TNK13/ FLMAM(10),GNLA(3),PTNAM(12),TDLK( 8,3,12,31)
*           ,CLS(3,10),CL(3, 8,372),LL(3, 8,372),CBK(3)
000584      COMMON /TNK14/ CR(3)

C
000585      NIS=0
000586      DO 1400 M=1,12
000587      IDN=IDAY(M)
000588      DO 1400 N=1,IDN
000589      NIS=NIS+1
000590      DO 1200 J=1,3
000591      DO 1200 K=1,KMAX
000592      DO 1150 I=1,6
000593      IF(NIS.EQ.1) GO TO 850
000594      LTB(J,I,K)=LT(J,I,K,NIS-1)
000595      GO TO 870
000596      850 IF(I.EQ.4.OR.I.EQ.5) GO TO 860
000597      LTB(J,I,K)=STK(J,I,K)
000598      GO TO 870
000599      860 LTB(J,I,K)=CGS(I,J,K)*TLI(I,K)*AREA(4,K)*1000.

```

```

000600      870 GO TO (880,880,880,950,970,980),I
000601      880 LTIN(J,I)=(RAV(K,M,N)*CR(J)+GNLT(J,I))*AREA(I,K)*1000.
000602          COT(I)=CKS(J,K)
000603          IF(NIS.NE.1) COT(I)=CT(J,I,K,NIS-1)
000604          IF(I.NE.2) GO TO 1000
000605          IF(NIS.EQ.1) GO TO 900
000606          CNS(J,1)=CT(J,4,K,NIS-1)
000607          CNS(J,2)=CT(J,5,K,NIS-1)
000608          CNS(J,3)=CT(J,6,K,NIS-1)
000609          DO 890 KK=1,KKMAX
000610      890 CNSK(J,KK)=CL(J,KK,NIS-1)
000611          GO TO 920
000612      900 CNS(J,1)=CGS(4,J,K)
000613          CNS(J,2)=CGS(5,J,K)
000614          CNS(J,3)=CKS(J,K)
000615          DO 910 KK=1,KKMAX
000616      910 CNSK(J,KK)=CLS(J,KK)
000617      920 CONTINUE
000618          DO 930 L=1,3
000619      930 LTIN(J,I)=LTIN(J,I)+QSN(K,L,M,N)*COEKN(M,N)*CNS(J,L)*86400.
000620          DO 940 KK=1,KKMAX
000621      940 LTIN(J,I)=LTIN(J,I)+QSNK(K,KK,M,N)*COEKN(M,N)*CNSK(J,KK)*86400.
000622          GO TO 1000
000623      950 COT(I)=CGS(I,J,K)
000624          IF(NIS.NE.1) COT(4)=CT(J,I,K,NIS-1)
000625          LTIN(J,I)=0.
000626          DO 960 L=1,3
000627      960 LTIN(J,I)=LTIN(J,I)+LTOT(J,L,2)
000628          LTIN(J,I)=LTIN(J,I)-(QSN(K,1,M,N)*COEKN(M,N)+QST(K,1,M,N))
          *COT(I)*86400.
000629          GO TO 1000
000630      970 COT(I)=CGS(I,J,K)
000631          IF(NIS.NE.1) COT(I)=CT(J,I,K,NIS-1)
000632          LTIN(J,I)=LTOT(J,4,2)-(QSN(K,2,M,N)*COEKN(M,N)+QST(K,2,M,N))
          *COT(I)*86400.
000633          GO TO 1000
000634      980 COT(I)=CKS(J,K)
000635          IF(NIS.NE.1) COT(I)=CT(J,I,K,NIS-1)
000636          LTIN(J,I)=LO1(J,K)
000637          DO 990 L=1,3
000638      990 LTIN(J,I)=LTIN(J,I)+LTOT(J,L,1)
000639      1000 CONTINUE
C
000640          QTANK1=QOTK1(K,I,M,N)
000641          IF(I.EQ.6) QTANK1=QOTK1(K,I,M,N)
          *QSN(K,3,M,N)*COEKN(M,N)+QST(K,3,M,N)
000642          IF(I.EQ.4.OR.I.EQ.5) GO TO 1040
000643          IF(LTB(J,I,K).LE.0.0.OR.QTANK1.LE.QC(J,I,K)) GO TO 1010
000644          LTOT(J,I,1)=LA(J,I,K)*LTB(J,I,K)*LB(J,I,K)
          *QTANK1*LD(J,I,K)*(QTANK1-QC(J,I,K))*86400.
000645          GO TO 1020
000646      1010 LTOT(J,I,1)=0.
000647      1020 IF(QOTK2(K,I,M,N).LE.0.0) GO TO 1030
000648          LTOT(J,I,2)=LM(J,I,K)*QOTK2(K,I,M,N)*LN(J,I,K)*86400.
000649          GO TO 1100
000650      1030 LTOT(J,I,2)=0.
000651          GO TO 1100
000652      1040 IF(LTB(J,I,K).LE.0.0) GO TO 1050
000653          LTOT(J,I,1)=COT(I)*QOTK1(K,I,M,N)*86400.
000654          LTOT(J,I,2)=COT(I)*QOTK2(K,I,M,N)*86400.
000655          GO TO 1100
000656      1050 LTOT(J,I,1)=0.
000657          LTOT(J,I,2)=0.
C
000658      1100 LT(J,I,K,NIS)=LTB(J,I,K)+LTIN(J,I)-LTOT(J,I,1)-LTOT(J,I,2)
          *RK*LTB(J,I,K)
000659          IF(LT(J,I,K,NIS).LE.0.0) LT(J,I,K,NIS)=0.0
000660          IF(I.LE.3) GO TO 1130
000661          IF(I.EQ.6) GO TO 1130
000662          IF(LT(J,I,K,NIS).LE.0.0) GO TO 1120
000663          IF(HT(K,I,M,N).LE.0.0) GO TO 1120
000664          CT(J,I,K,NIS)=LT(J,I,K,NIS)/(HT(K,I,M,N)*AREA(4,K)*1000.)
000665          GO TO 1140
000666      1120 CT(J,I,K,NIS)=0.0
000667          GO TO 1140
000668      1130 IF(QTANK1.LE.0.0) GO TO 1135
000669          CT(J,I,K,NIS)=LTOT(J,I,1)/QTANK1/86400.
000670          IF(I.EQ.6) CT(J,I,K,NIS)=(LTOT(J,I,1)+LTOT(J,4,1)+LTOT(J,5,1)
          *L02(J,K)+L03(J,K))/QTANK1/86400.
000671          GO TO 1140
000672      1135 CT(J,I,K,NIS)=COT(I)
000673      1140 CONTINUE
000674      1150 CONTINUE
000675          LOUT(K,J,M,N)=CT(J,6,K,NIS)*QOTK1(K,6,M,N)*0.0864
000676          LUND(K,J,M,N)=LTOT(J,5,2)/1000000.
000677          IF(LOUT(K,J,M,N).LE.0.0) LOUT(K,J,M,N)=0.0
000678          IF(LUND(K,J,M,N).LE.0.0) LUND(K,J,M,N)=0.0
000679      1200 CONTINUE

```

```

C      ****   コソウ フカシウス ケイケン   ****
C
C

```

```

000680      DO 1300 J=1,3
000681      DO 1205 KK=1,KKMAX
000682      CLB(KK)=CLS(J,KK)
000683      IF(NIS.NE.1) CLB(KK)=CL(J,KK,NIS-1)
000684 1205 CONTINUE
000685      DO 1250 KK=1,KKMAX
000686      LR(KK)=RAVK(KK,M,N)*AREAK(KK)*CR(J)*1000.
000687      LAM(KK)=FLMAM(KK)*GNLA(J)*1000.*PTNAM(M)/IDAY(M)
000688      IF(QMV(KK,M,N).GE.0.0) GO TO 1210
000689      IF(KK.EQ.KKMAX) GO TO 1206
000690      CMV(KK)=CLB(NOTB(KK))
000691      GO TO 1220
000692 1206 CMV(KK)=CBK(J)
000693      GO TO 1220
000694 1210 CMV(KK)=CLB(KK)
000695 1220 LLB(KK)=VSTK(KK)*CLS(J,KK)*10.0**IEXHV
000696      IF(NIS.NE.1) LLB(KK)=LL(J,KK,NIS-1)
C
000697      LLIN(KK)=(LOUT(KK,J,M,N)+LUND(KK,J,M,N))*1000000.
*      +LR(KK)+LAM(KK)+TDLK(KK,J,M,N)*1000.
000698      IF(NIN(KK).EQ.0) GO TO 1240
000699      JN=NIN(KK)
000700      DO 1230 L=1,JN
000701 1230 LLIN(KK)=LLIN(KK)+QMV(NINB(KK,L),M,N)*CMV(NINB(KK,L))*86400.
000702 1240 LLOT(KK)=(QMV(KK,M,N)*CMV(KK)+(QSTK(KK,M,N)
*      +QSNKAL(KK,M,N)*COEKN(M,N))*CLB(KK))*86400.
000703      LL(J,KK,NIS)=LLB(KK)+LLIN(KK)-LLOT(KK)
000704      CL(J,KK,NIS)=LL(J,KK,NIS)/(VK(KK,M,N)*10.0**IEXHV)
000705 1250 CONTINUE
000706 1300 CONTINUE
000707 1400 CONTINUE
C
000708      RETURN
000709      END

000710      SUBROUTINE PRINT(IR,ISW)
000711      REAL LA,LB,LD,LM,LN,LT,LOUT,LUND
000712      REAL LL
000713      COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000714      COMMON /TNK5 / TISR(10,20),TISRK(10,20),TISE(10,20),TISEK(10,20)
*      ,RS(10,12,31),ES(10,12,31),COEEV(4),RAV( 8,12,31)
*      ,EAV( 8,12,31),RAVK( 8,12,31),EAVK( 8,12,31)
000715      COMMON /TNK7 / QST( 8,3,12,31),QSN( 8,3,12,31),QSTK( 8,12,31)
*      ,QSNK( 8, 8,12,31),QSNKAL( 8,12,31)
000716      COMMON /TNK8 / IHV,IEXHV,HH(10,11),VV(10,11),HST,VST,VSTK(10)
*      ,VAL(12,31),HAL(12,31),QMV( 8,12,31),QTAL(12,31)
*      ,VK( 8,12,31),QKAL(12,31),QOUT(12,31)
000717      COMMON /TNK10/ TL(6,10,4),TA(6,10,4),TLI(6,10),HT( 8,6,12,31)
*      ,TOTK( 8,6,12,31),TOTKAL( 8,12,31)
*      ,QOTK1( 8,6,12,31),QOTK2( 8,6,12,31)
000718      COMMON /TNK12/ LA(3,6,10),LB(3,6,10),LD(3,6,10),QC(3,6,10),RK
*      ,LM(3,6,10),LN(3,6,10),GNLT(3,3),CKS(3,10)
*      ,CGS(5,3,10),STK(3,6,10),LT(3,6, 8,372),NSTL(10)
*      ,CT(3,6, 8,372),LOUT( 8,3,12,31),LUND(8,3,12,31)
000719      COMMON /TNK13/ FLMAM(10),GNLA(3),PTNAM(12),TDLK( 8,3,12,31)
*      ,CLS(3,10),CL(3, 8,372),LL(3, 8,372),CBK(3)
000720      COMMON /TNK15/ MXK,MXKK,MXI,IPK(10),IPKK(10),IPI(10)
000721      COMMON /TNK17/ HUP(12,31),HDWN(12,31),IHSW,IQREL
000722      CALL DTSET3(QKAL,5)
000723      CALL DTSET3(QTAL,12)
000724      CALL DTSET3(HAL,6)
000725      CALL DTSET3(QOUT,11)
000726      CALL DTSET2(HT,MXK,IPK,MXI,IPI,3)
000727      IF(ISW.EQ.1) GO TO 111
000728      CALL DTSET1(RAV,MXK,IPK,1)
000729      CALL DTSET1(EAV,MXK,IPK,2)
000730      CALL DTSET2(QOTK1,MXK,IPK,MXI,IPI,4)
000731      CALL DTSET1(QSTK,MXK,IPK,13)
000732      CALL DTSET1(QSNKAL,MXK,IPK,14)
000733      CALL DTSET1(QMV,MXKK,IPKK,7)
000734 111 IF(IR.EQ.0) RETURN
000735      CALL DTSET4(CT,MXK,IPK,MXI,IPI,9)
000736      CALL DTSET5(CL,MXKK,IPKK,10)
000737      CALL DTSET6(LOUT,MXK,IPK,15)
000738      IF(ISW.EQ.1) RETURN
000739      CALL DTSET4(LT,MXK,IPK,MXI,IPI,8)
000740      RETURN
000741      END

```

```

000742      SUBROUTINE DTSET1(A,IPMX,IP,J)
000743      DIMENSION A( 8,12,31),IP(10),DD(31,12)
000744      IF(IPMX.LE.0) RETURN
000745      DO 20 I=1,IPMX
000746      II=IP(I)
000747      DO 10 M=1,12
000748      DO 10 N=1,31
000749      10 DD(N,M)=A(II,M,N)
000750      IF(J.NE.11) CALL NENPYO(DD,J,II,999,999)
000751      IF(J.EQ.11) CALL NENPYO(DD,J,II,999,11)
000752      20 CONTINUE
000753      RETURN
000754      END

```

```

000755      SUBROUTINE DTSET2(A,MXK,IPK,MXI,IPI,J)
000756      DIMENSION A( 8,6,12,31),IPK(10),IPI(10),D(31,12)
000757      IF(MXK*MXI.LE.0) RETURN
000758      DO 30 I=1,MXK
000759      II=IPK(I)
000760      DO 30 K=1,MXI
000761      KK=IPI(K)
000762      DO 20 M=1,12
000763      DO 20 N=1,31
000764      20 D(N,M)=A(II,KK,M,N)
000765      CALL NENPYO(D,J,II,KK,999)
000766      30 CONTINUE
000767      RETURN
000768      END

```

```

000769      SUBROUTINE DTSET3(A,J)
000770      DIMENSION A(12,31),D(31,12)
000771      DO 10 M=1,12
000772      DO 10 N=1,31
000773      10 D(N,M)=A(M,N)
000774      CALL NENPYO(D,J,999,999,999)
000775      RETURN
000776      END

```

```

000777      SUBROUTINE DTSET4(A,MXK,IPK,MXI,IPI,J)
000778      DIMENSION A(3,6, 8,372),IPK(10),IPI(10),DD(31,12)
000779      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000780      IF(MXK*MXI.LE.0) RETURN
000781      DO 30 I=1,MXK
000782      II=IPK(I)
000783      DO 30 K=1,MXI
000784      KK=IPI(K)
000785      DO 30 L=1,3
000786      DO 20 NN=1,NIS
000787      M=NBM(NN)
000788      N=NBN(NN)
000789      DD(N,M)=A(L,KK,II,NN)
000790      20 CONTINUE
000791      CALL NENPYO(DD,J,II,KK,L)
000792      30 CONTINUE
000793      RETURN
000794      END

```

```

000795      SUBROUTINE DTSET5(A,MXK,IPK,J)
000796      DIMENSION A(3, 8,372),IPK(10),DD(31,12)
000797      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000798      IF(MXK.LE.0) RETURN
000799      DO 30 I=1,MXK
000800      II=IPK(I)
000801      DO 30 L=1,3
000802      DO 20 NN=1,NIS
000803      M=NBM(NN)
000804      N=NBN(NN)
000805      DD(N,M)=A(L,II,NN)
000806      20 CONTINUE
000807      CALL NENPYO(DD,J,II,999,L)
000808      30 CONTINUE
000809      RETURN
000810      END

```

```

000811      SUBROUTINE DTSET6(A,MXX,IPK,J)
000812      DIMENSION A(8,3,12,31),IPK(10),DD(31,12)
000813      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000814      IF(MXX.LE.0) RETURN
000815      DO 30 I=1,MXX
000816      II=IPK(I)
000817      DO 30 L=1,3
000818      DO 20 M=1,12
000819      DO 20 N=1,31
000820      DD(N,M)=A(II,L,M,N)
000821      20 CONTINUE
000822      CALL NENPYO(DD,J,II,999,L)
000823      30 CONTINUE
000824      RETURN
000825      END

000826      SUBROUTINE NENPYO(DD,IT,KK,II,JJ)
000827      CHARACTER AN*10,SM*10,AM*10,AD*10,FORM*10,FORMF*10,SUI*4
000828      DIMENSION AN(8),SM(12),AM(12),AD(31,12),FORMF(2),SUI(3)
000829      DIMENSION SDN(2),SDM(12),ADM(12),DD(31,12)
000830      COMMON /TNK0 / TITLE(20)
000831      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000832      DATA AN,SM,AM,AD/404* ' ' /
000833      DATA FORMF/'(E10.3) ','(F10.3) ' '//,SUI/' COD',' TN',' TP'/
000834      DLMTE=-1.0E20
000835      DLMTE2=1.0E20

000836      C      SDN(2)=0.0
000837      DO 102 M=1,12
000838      102 SDM(M)=0.0

000839      C      ND=0
000840      DO 100 M=1,12
000841      MD=0
000842      DO 110 ID=1,IDAY(M)
000843      IF(DD(ID,M).GT.DLMTE) DLMTE=DD(ID,M)
000844      IF(DD(ID,M).LT.DLMTE2) DLMTE2=DD(ID,M)
000845      MD=MD+1
000846      SDM(M)=SDM(M)+DD(ID,M)
000847      110 CONTINUE
000848      ND=ND+MD
000849      SDN(2)=SDN(2)+SDM(M)
000850      ADM(M)=SDM(M)/FLOAT(MD)
000851      100 CONTINUE
000852      SDN(1)=SDN(2)/FLOAT(ND)

000853      C      DLMTE=AMAX1(ABS(DLMTE),ABS(DLMTE2))
000854      FORM=FORMF(2)
000855      IF(DLMTE.LE.0.1.OR.DLMTE.GT.10000.) FORM=FORMF(1)
000856      DO 111 M=1,12
000857      DO 111 ID=1,IDAY(M)
000858      WRITE(AD(ID,M),FMT=FORM) DD(ID,M)
000859      111 CONTINUE
000860      DO 121 M=1,12
000861      WRITE(SM(M),FMT=FORM) SDM(M)
000862      WRITE(AM(M),FMT=FORM) ADM(M)
000863      121 CONTINUE
000864      DO 130 I=1,2
000865      WRITE(AN(I),FMT=FORM) SDN(I)
000866      130 CONTINUE

000867      C      IF(IT.EQ. 1) PRINT 301,TITLE,NST
000868      IF(IT.EQ. 2) PRINT 302,TITLE,NST
000869      IF(IT.EQ. 3) PRINT 303,TITLE,NST
000870      IF(IT.EQ. 4) PRINT 304,TITLE,NST
000871      IF(IT.EQ. 5) PRINT 305,TITLE,NST
000872      IF(IT.EQ. 6) PRINT 306,TITLE,NST
000873      IF(IT.EQ. 7) PRINT 307,TITLE,NST
000874      IF(IT.EQ. 8) PRINT 308,TITLE,NST
000875      IF(IT.EQ. 9) PRINT 309,TITLE,NST
000876      IF(IT.EQ.10) PRINT 310,TITLE,NST
000877      IF(IT.EQ.11) PRINT 311,TITLE,NST
000878      IF(IT.EQ.12) PRINT 318,TITLE,NST
000879      IF(IT.EQ.13) PRINT 319,TITLE,NST
000880      IF(IT.EQ.14) PRINT 320,TITLE,NST
000881      IF(IT.EQ.15) PRINT 330,TITLE,NST
000882      IF(KK.GT.10) PRINT 312
000883      IF(KK.LE.10.AND.JJ.NE.11) PRINT 313,KK
000884      IF(KK.LE.10.AND.JJ.EQ.11) PRINT 317,KK
000885      IF(II.GT. 6) PRINT 314
000886      IF(II.LE. 6) PRINT 315,II
000887      IF(JJ.GT. 3) PRINT 314
000888      IF(JJ.LE. 3) PRINT 316,SUI(JJ)
000889      PRINT 1,(M,M=1,12)
000890      DO 200 ID=1,30
000891      IF(MOD(ID,5).EQ.1) PRINT 2
000892      PRINT 3,ID,(AD(ID,M),M=1,12)
000893      200 CONTINUE
000894      ID=31
000895      PRINT 3,ID,(AD(ID,M),M=1,12)

```

```

000896      PRINT 4,(SM(M),M=1,12)
000897      PRINT 5,(AM(M),M=1,12)
000898      PRINT 6,(AN(M),M=1,2)

C
000899      1 FORMAT(/,5X,'ニチ',3X,12(4X,12,1X,'カヅ'))
000900      2 FORMAT(1X)
000901      3 FORMAT(5X,12,3X,12A10)
000902      4 FORMAT(/,3X,'   タイ',3X,12A10)
000903      5 FORMAT( 3X,'ハイツ',3X,12A10)
000904      6 FORMAT(/,1X,'ホウヘキ',3X,A10//,2X,'コウケイ',3X,A10)
000905      301 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ ハイツ ウリヨク (MM/DAY)   S.',12)
000906      302 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ ハイツ ショウハツリヨク (MM/DAY) S.',12)
000907      303 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ トチリヨクハイツ タンク スイ (MM)   S.',12)
000908      304 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ トチリヨクハイツ カセリ ヲリヨク (M3/S) S.',12)
000909      305 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ カセリ ヲリヨク (M3/S)   S.',12)
000910      306 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ スイ (M)   S.',12)
000911      307 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ フロツ イトウスイリヨク (M/3)   S.',12)
000912      308 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ トチリヨクハイツ サニツソウカリヨク (G) S.',12)
000913      309 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ トチリヨクハイツ リョウシツリヨク (MG/L) S.',12)
000914      310 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ スイ (MG/L)   S.',12)
000915      311 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'ホウリョウリヨク   S.',12)
000916      312 FORMAT(1H0//)
000917      313 FORMAT(/,10X,'フロツ NO.',13)
000918      314 FORMAT(10X)
000919      315 FORMAT(10X,'トチリヨク NO.',13,5X,'(1;サウチ,2;スイテツ,3;シカイチ,4;センソクチカ',
*          '5;ソウソクチカ,6;カセツ)')
000920      316 FORMAT(10X,'リョウイキ ヲリヨク ; ',A4)
000921      317 FORMAT(/,10X,'リョウイキ NO.',13,5X,'(1;コスイ(M),2;カセリリョウリヨク(M3/S)',
*          '3;リョウイキ カセリリョウリヨク(M3/S) )')
000922      318 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ カセリ リョウリヨク (M3/S)   S.',12)
000923      319 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ トチリヨクハイツ リョウリヨク (M3/S)   S.',12)
000924      320 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'リョウイキ フロツ リョウリヨク (M3/S)   S.',12)
000925      330 FORMAT(1H1//,20A4//,20X,'カセリ リョウリヨク (TON/DAY) S.',12)
000926      RETURN
000927      END

000928      SUBROUTINE JOHKEN(IR)
000929      REAL    L01,L02,L03
000930      REAL    LA,LB,LD,LM,LN,LT,LOUT,LUND
000931      REAL    LL
000932      CHARACTER  NAM*4
000933      DIMENSION  NAM(3)
000934      COMMON /TNK0 / TITLE(20)
000935      COMMON /TNK1 / KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX
000936      COMMON /TNK2 / IDAY(12),NIS,NBM(366),NBN(366),NST,NISB
000937      COMMON /TNK3 / NIN(10),NINB(10,10),NOTB(10),KSHNO(10),KSHMAX
000938      COMMON /TNK4 / AREA(6,10),AREAK(10)
000939      COMMON /TNK5 / TISR(10,20),TISRK(10,20),TISE(10,20),TISEK(10,20)
*          ,RS(10,12,31),ES(10,12,31),COEEV(4),RAV( 8,12,31)
*          ,EAV( 8,12,31),RAVK( 8,12,31),EAVK( 8,12,31)
000940      COMMON /TNK6 / FLM1(4,10),FLM2(4,10),QGEN(4)
*          ,COEQ01(4,10),COEQ02(4,10),Q01(10),Q02(10),Q03(10)
*          ,GNLF(3,4),CO3(3,10),COELO1(3,4,10)
*          ,COELO2(3,4,10),LO1(3,10),LO2(3,10),LO3(3,10)
000941      COMMON /TNK7 / QST( 8,3,12,31),QSN( 8,3,12,31),QSTK( 8,12,31)
*          ,QSNK( 8, 8,12,31),QSNKAL( 8,12,31)
000942      COMMON /TNK8 / IHV,IEHV,HH(10,11),VV(10,11),HST,VST,VSTK(10)
*          ,VAL(12,31),HAL(12,31),QMV( 8,12,31),QTAL(12,31)
*          ,VK( 8,12,31),QKAL(12,31),QOUT(12,31)
000943      COMMON /TNK10/ TL(6,10,4),TA(6,10,4),TLI(6,10),HT( 8,6,12,31)
*          ,TOTK( 8,6,12,31),TOTKAL( 8,12,31)
*          ,QOTK1( 8,6,12,31),QOTK2( 8,6,12,31)
000944      COMMON /TNK11/ KNGM1(10),KNGN1(10),KNGM2(10),KNGN2(10),NUM(12,31)
*          ,COEKN(12,31),COEKNG(10),KNGMAX,ITEV
000945      COMMON /TNK12/ LA(3,6,10),LB(3,6,10),LD(3,6,10),QC(3,6,10),RK
*          ,LM(3,6,10),LN(3,6,10),GNLT(3,3),CKS(3,10)
*          ,CGS(5,3,10),STK(3,6,10),LT(3,6, 8,372),NSTL(10)
*          ,CT(3,6, 8,372),LOUT( 8,3,12,31),LUND(8,3,12,31)
000946      COMMON /TNK13/ FLMAM(10),GNLA(3),PTNAM(12),TDLK( 8,3,12,31)
*          ,CLS(3,10),CL(3, 8,372),LL(3, 8,372),CBK(3)
000947      COMMON /TNK14/ CR(3)
000948      COMMON /TNK15/ MXK,MXKK,MXI,IPK(10),IPKK(10),IPI(10)
000949      DATA NAM/' COD',' TN',' TP'/

C
000950      PRINT 1,TITLE
000951      PRINT 2,KMAX,KKMAX,IRMAX,IEMAX,NST
000952      PRINT 6, KSHMAX
000953      IF(KSHMAX.NE.0) PRINT 7, (KSHNO(K),K=1,KSHMAX)
000954      PRINT 3
000955      DO 210 K=1,KMAX
000956      210 PRINT 8, K,(AREA(I,K),I=1,4)
000957      PRINT 9, (K,K=1,KKMAX)
000958      PRINT 80, (AREAK(K),K=1,KKMAX)
000959      PRINT 4, (J,J=1,IRMAX)
000960      DO 220 K=1,KMAX
000961      220 PRINT 10, K,(TISR(K,J),J=1,IRMAX)
000962      PRINT 4, (J,J=1,IRMAX)
000963      DO 221 K=1,KKMAX
000964      221 PRINT 11, K,(TISR(K,J),J=1,IRMAX)
000965      PRINT 5, (J,J=1,IEMAX)

```

```

000966      DO 222 K=1,KMAX
000967 222 PRINT 10, K,(TISE(K,J),J=1,IEMAX)
000968      PRINT 5, (J,J=1,IEMAX)
000969      DO 223 K=1,KKMAX
000970 223 PRINT 11, K,(TISEK(K,J),J=1,IEMAX)
C
000971      PRINT 1,TITLE
000972      PRINT 12, (I,I=1,1)
000973      DO 250 K=1,KMAX
000974 250 PRINT 14, K,(FLM1(I,K),I=1,4)
000975      PRINT 12, (I,I=2,2)
000976      DO 251 K=1,KMAX
000977 251 PRINT 14, K,(FLM2(I,K),I=1,4)
000978      PRINT 25,(QGEN(I),I=1,4)
000979      PRINT 26
000980      DO 252 K=1,KMAX
000981 252 PRINT 70, K,(COEQ01(I,K),I=1,4)
000982      PRINT 27
000983      DO 112 K=1,KMAX
000984 112 PRINT 70, K,(COEQ02(I,K),I=1,4)
000985      PRINT 16, IEXHV,(K,K=1,KKMAX)
000986      DO 280 I=1,IHV
000987 280 PRINT 17,I,(HH(I,K),VV(I,K),K=1,KKMAX+1)
000988      PRINT 28,HST
C
000989      PRINT 1,TITLE
000990      PRINT 15
000991      DO 110 K=1,KMAX
000992      DO 101 J=1,4
000993 101 PRINT 19,K,J,(TL(I,K,J),TA(I,K,J),I=1,6)
000994      PRINT 13,(TLI(I,K),I=1,6)
000995 110 CONTINUE
000996      PRINT 22
000997      DO 111 K=1,KNGMAX
000998 111 PRINT 23,KNGM1(K),KNGN1(K),KNGM2(K),KNGN2(K),COEKNG(K)
000999      PRINT 24,(COEEV(I),I=1,4),ITEV
001000      IF (IR.EQ.0) RETURN
C
001001      DO 125 J=1,3
001002      PRINT 1, TITLE
001003      PRINT 20, NAM(J),(K,K=1,KMAX)
001004      DO 130 I=1,3
001005      PRINT 35, I,(LA(J,I,K),K=1,KMAX)
001006      PRINT 30, I,(LB(J,I,K),K=1,KMAX)
001007      PRINT 31, I,(LD(J,I,K),K=1,KMAX)
001008      PRINT 32, I,(QC(J,I,K),K=1,KMAX)
001009      PRINT 33, I,(LM(J,I,K),K=1,KMAX)
001010      PRINT 34, I,(LN(J,I,K),K=1,KMAX)
001011      PRINT 36, I,(STK(J,I,K),K=1,KMAX)
001012      PRINT 60
001013 130 CONTINUE
001014      I=6
001015      PRINT 35, I,(LA(J,6,K),K=1,KMAX)
001016      PRINT 30, I,(LB(J,6,K),K=1,KMAX)
001017      PRINT 31, I,(LD(J,6,K),K=1,KMAX)
001018      PRINT 32, I,(QC(J,6,K),K=1,KMAX)
001019      PRINT 33, I,(LM(J,6,K),K=1,KMAX)
001020      PRINT 34, I,(LN(J,6,K),K=1,KMAX)
001021      PRINT 36, I,(STK(J,6,K),K=1,KMAX)
001022      PRINT 49, (NSTL(K),K=1,KMAX)
001023 125 CONTINUE
C
001024      PRINT 1,TITLE
001025      PRINT 29,RK
001026      PRINT 40,(CR(J),J=1,3)
001027      PRINT 41,((GNLT(J,L),L=1,3),J=1,3)
001028      PRINT 42,((GNLF(J,L),L=1,4),J=1,3)
001029      PRINT 62, (K,K=1,KMAX)
001030      DO 128 J=1,3
001031 128 PRINT 43, NAM(J),(CO3(J,K),K=1,KMAX)
001032      PRINT 63
001033      DO 126 J=1,3
001034      DO 126 K=1,KMAX
001035 126 PRINT 44,NAM(J),K,(COELO1(J,I,K),I=1,4)
001036      PRINT 64
001037      DO 127 J=1,3
001038      DO 127 K=1,KMAX
001039 127 PRINT 44,NAM(J),K,(COELO2(J,I,K),I=1,4)
C
001040      PRINT 1,TITLE
001041      PRINT 45,(K,K=1,KKMAX)
001042      PRINT 61,(FLMAM(K),K=1,KKMAX)
001043      PRINT 46,(GNLA(I),I=1,3)
001044      PRINT 47,(M,M=1,12),(PTNAM(M),M=1,12)
C
001045      PRINT 1,TITLE
001046      PRINT 53,(K,K=1,KMAX)
001047      DO 150 I=1,3
001048 150 PRINT 50, NAM(I),(CKS(I,K),K=1,KMAX)
001049      PRINT 54,(K,K=1,KKMAX)
001050      DO 151 I=1,3

```


付録 B.4 入力データ，変数名の説明

湖沼流域水量水質循環モデル プログラムマニュアル (1)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

① 入力コントロールスイッチ

IRT (1)	(2)		IRT (I)	I = 1, 32 (1615)
---------	-----	-------	---------	------------------

IRT (I) : 入力コントロール (計算終了の場合はいれなくてよい)

IRT (1) ≠ 0 の時 タイトル入力

IRT (2) = 0 の時 単年データによる連続計算

IRT (2) = 1 の時 連続年データによる連続計算

IRT (2) = 2 の時 流域数等入力

IRT (3) ≠ 0 の時 湖沼分割形式入力

IRT (4) ≠ 0 の時 流域土地利用別面積入力

IRT (5) ≠ 0 の時 流域及び湖面雨量 ティーセン係数入力

IRT (6) ≠ 0 の時 流域及び湖面蒸発量 ティーセン係数入力

IRT (7) ≠ 0 の時 観測所降水量入力

IRT (8) ≠ 0 の時 観測所蒸発計蒸発量入力

IRT (9) ≠ 0 の時 未処理区フレームの入力

IRT (10) ≠ 0 の時 処理区フレームの入力

IRT (11) ≠ 0 の時 流域都市用水取水量入力

IRT (12) ≠ 0 の時 流域農水取水量入力

IRT (13) ≠ 0 の時 湖沼からの都市用水取水量入力 (流域外への農水取水も含む)

IRT (14) ≠ 0 の時 湖沼からの流域別農水取水量入力 (流域外への農水取水は都市用水取水とする)

IRT (15) ≠ 0 の時 湖沼H~V入力

IRT (16) ≠ 0 の時 水量実測値の入力

IRT (17) ≠ 0 の時 水量タンク孔定数の入力

IRT (17) = 1 の時 タンク初期水位の入力 (IRT (17) = 2 の時は連続計算における前年末の計算水位を初期水位とする)

IRT (18) ≠ 0 の時 かんがい期取水係数の入力

IRT (19) ≠ 0 の時 土地利用別蒸発係数の入力

IRT (20) ≠ 0 の時 排水量原単位, 流出率の入力

IRT (21) = 1 の時 湖沼初期水位の入力 (IRT (21) = 2 の時は連続計算における前年末の計算水位の初期水位とする。IRT (21) = 0 の時は前ケースと同じ水位)

IRT (22) = 1 の時 負荷量 (水質) 計算をしない

IRT (22) = 1, 2 の時 前ケースと同じ負荷タンク定数を用いる (IRT (22) = 2 の時は, 連続計算における前年末の残存負荷量を初期残存負荷量とする)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

- IRT (22) > 1 の時 負荷タンク定数の入力
- IRT (23) ≠ 0 の時 雨水水質の入力
- IRT (24) ≠ 0 の時 負荷量原単位の入力
- IRT (25) ≠ 0 の時 網生質負荷量の入力
- IRT (26) ≠ 0 の時 内部負荷量の入力
- IRT (27) = 1 の時 河川, 地下, 湖沼の初期水質入力 (IRT (27) = 2 の時は連続計算における前年末の計算水質を初期水質とする)
- IRT (27) ≠ 0 の時 湖沼下流側水質 (逆流水質の入力)
- IRT (28) ≠ 0 の時 出力コントロールの入力
- IRT (29) = 0 の時 前ケースと同様の水位制限ルールとする (最初の計算ケースは必ず ≠ 0 とする)
- IRT (29) ≠ 0 の時 湖水位制御ルールまたは放流量を入力
- IRT (30) ≠ 0 の時 入力条件を出力する
- IRT (31) ≠ 0 の時 計算結果 (年表) を出力しない
- IRT (31) = 1 の時 主要項目のみ計算結果 (年表) を出力する
- IRT (31) = 2 の時 全項目の計算結果 (年表) を出力する

② IRT (1) ≠ 0 の時 タイトル入力

TITLE (20A4)

TITLE ; タイトル

③ IRT (2) = 0 の時 単年データによる連続計算

IRT (2) = 1 の時 連続データによる連続計算

IRT (2) = 2 の時 流域数等入力

KMAXKKMAXIRMAXIEMAX NST (5I5)

KMAX ; 流域数 (≤ 8)

KKMAX ; 湖沼分割数 (≤ 8)

IRMAX ; 雨量観測所数 (≤ 10)

IEMAX ; 蒸発量観測所数 (≤ 10)

NST ; 計算開始年

KSHMAX (I5)

KSHMAX ; 湖沼に流入する流域数 (≤ 8)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

KSHMAX ≠ 0 の時

KSHNO(1)	… (2)	… (K)	
----------	-------	-------	--

K = 1, KSHMAX (16I5)

KSHNO (K) ; 湖沼に流入する流域No

④ IRT (3) ≠ 0 の時 湖沼分割形式入力

NIN (1)	(2)	……	NIN(K)	……
---------	-----	----	--------	----

K = 1, KKMAX (16I5)

NIN (K) ; K水域に流入する水域数

KKMAX = 1 の時は⑤へ

K = 1, KKMAX NIN (K) = 0 の時はとばす

NINB(K,1)	(K, 2)	……	(K, I)	……
-----------	--------	----	--------	----

I = 1, NIN (K) (16I5)

NINB (K, I) ; K水域に流入する水域No

NOTB(1)	(2)	……	(K)	……
---------	-----	----	-----	----

K = 1, KKMAX - 1 (16I5)

NOTB (K) ; K水域の流出先水域No

⑤ IRT (4) ≠ 0 の時 流域土地利用別面積入力

K = 1, KMAX

AREA (1, K)	(2, K)	(3, K)	(4, K)	(5, K)	(6, K)
-------------	--------	--------	--------	--------	--------

(6F10.4)

AREA (1, K) ; K流域山地面積 (km²)

AREA (4, K) ~ (6, K)

K流域 流域面積 (km²)

AREA (2, K) ; " 水田面積 (km²)

(同じものを入れる)

AREA (3, K) ; " 市街地面積 (km²)

AREAK (1)	(2)	……	(K)	……
-----------	-----	----	-----	----

K = 1, KKMAX (8F10.4)

AREAK (K) ; K水域湖面積 (km²)

⑥ IRT (5) ≠ 0 の時 流域及び湖面雨量 ティーセン係数入力

K = 1, KMAX

湖沼流域水量水質循環モデル データ入力マニュアル (4)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

TISR (K, 1)	(K, 2)		(K, J)		J = 1, IRMAX	(8F10.4)
-------------	--------	-------	--------	-------	--------------	----------

TISR (K, J); K流域におけるJ雨量観測所 ティーセン係数

K = 1, KKMAX

TISRK (K, 1)	(K, 2)		(K, J)		J = 1, IRMAX	(8F10.4)
--------------	--------	-------	--------	-------	--------------	----------

TISRK (K, J); K水域におけるJ雨量観測所 ティーセン係数

⑦ IRT (6) ≠ 0の時 流域及び湖面蒸発量 ティーセン係数入力

K = 1, KMAX

TISE (K, 1)	(K, 2)		(K, J)		J = 1, IEMAX	(8F10.4)
-------------	--------	-------	--------	-------	--------------	----------

TISE (K, J); K流域におけるJ蒸発量観測所 ティーセン係数

K = 1, KKMAX

TISE (K, 1)	(K, 2)		(K, J)		J = 1, IEMAX	(8F10.4)
-------------	--------	-------	--------	-------	--------------	----------

TISEK (K, J); K地域におけるJ蒸発量観測所 ティーセン係数

⑧ IRT (7) ≠ 0の時 観測所降水量入力

I = 1, IRMAX

M = 1, 12

RS (I, M, 1)	(I, M, 2)		(I, M, N)		N = 1, 31	(8F10.4)
--------------	-----------	-------	-----------	-------	-----------	----------

RS (I, M, N); I 観測所日降水量 (融雪を含む) (M月N日) (mm / 日)

⑨ IRT (8) ≠ 0の時 観測所蒸発計蒸発量入力

I = 1, IEMAX

M = 1, 12

ES (I, M, 1)	(I, M, 2)		(I, M, N)		N = 1, 31	(8F10.4)
--------------	-----------	-------	-----------	-------	-----------	----------

ES (I, M, N); I 観測所日蒸発計蒸発量 (または降雨補正日蒸発量) (M月N日) (mm / 日)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

⑩ IRT (9) ≠ 0 の時 未処理区フレームの入力

K = 1, KMAX

FLM1 (K, 1)	(K, 2)	(K, 3)	(K, 4)	(4F10.4)
-------------	--------	--------	--------	----------

FLM1 (K, 1) ; 未処理区人口 (人)

(K, 3) ; 未処理区牛頭数 (頭)

(K, 2) ; " 工業出荷額 (百万円)

(K, 4) ; " 豚頭数 (頭)

⑪ IRT (10) ≠ 0 の時 処理区フレーム入力

K = 1, KMAX

FLM2 (K, 1)	(K, 2)	(K, 3)	(K, 4)	(4F10.4)
-------------	--------	--------	--------	----------

FLM2 (K, 1) 処理区人口 (人)

FLM2 (K, 3) 処理区牛頭数 (頭)

(K, 2) " 工業出荷額 (百万円)

(K, 4) " 豚頭数 (頭)

⑫ IRT (11) ≠ 0 の時 流域都市用水取水水量入力

IQM(1, 1)	(2, 1)		(K, 1)
(1, 2)	(2, 2)		(K, 2)
(1, 3)	(2, 3)		(K, 3)

K = 1, KMAX (1615)

IQM (K, 1) ; K流域浅層地下都市用水取水件数

2 ; K流域深層地下都市用水取水件数

3 ; K流域河川都市用水取水件数

K = 1, KMAX

I = 1, 3

IQM (K, I) = 0 の時は次の I, または K へ

ISW (I)	(2)		(J)
---------	-----	-------	-----

J = 1, IQM (K, I)

ISW (J) = 1 年平均値を入力

= 2 月平均値 (12コ) を入力

= 3 日データを入力

J = 1, IQM (K, I)

ISW (J) = 1 の時

QN	(F10.4)
----	---------

湖沼流域水量水質循環モデル データ入力マニュアル (6)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

QN ; 年平均取水量 (m^3/s)

ISW (J) = 2 の時

QM	(1)	(2)		(M)		M = 1, 2 (8F10.4)
----	-----	-----	-------	-----	-------	-------------------

QM ; 月平均取水量 (m^3/s)

ISW (J) = 3 の時

M = 1, 12

QQ	(M, 1)	(M, 2)		(M, N)		N = 1, 31 (8F10.4)
----	--------	--------	-------	--------	-------	--------------------

QQ (M, N) ; 日取水量 (M月N日) (m^3/s)

⑬ IRT (12) $\neq 0$ の時 流域農水取水量入力

入力方法は⑫の都市用水量と全く同様 (浅層地下, 深層地下, 河川別に, 年平均値, 月平均値, 日平均値のいずれかを入力する)

⑭ IRT (13) $\neq 0$ の時 湖沼からの都市用水取水量入力 (流域外への農水取水も含む)

IQM(1)	(2)		(K)		K = 1, KKMAX	(16I5)
--------	-----	-------	-----	-------	--------------	--------

IQM (K) ; K水域都市用水取水件数

K = 1, KKMAX

IQM (K) = 0 の時は 次のKへ

ISW(1)	(2)		(J)		J = 1, IQM (K)	(16I5)
--------	-----	-------	-----	-------	----------------	--------

J = 1, IQM (K)

ISW (J) = 1 の時

2 の時

⑫と同様にK水域の都市用水取水量 (m^3/s) を入力

3 の時

⑮ IRT (14) $\neq 0$ の時 湖沼からの流域別農水取水量入力 (流域外への農水取水は都市用水取水⑭とする)

K = 1, KMAX

IQM (1)	(2)		(KK)		KK = 1, KKMAX
---------	-----	-------	------	-------	---------------

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

IQM (KK) ; K流域へのKK水域からの取水件数 以下⑫と同じ

⑩ IRT (15) ≠ 0 の時 湖沼H~V入力

IHV	IEXHV
-----	-------

 (215)

IHV ; テーブル数

IEXHV ; 容量単位換算係数 (入力容量×10^{IEXHV} m³)

K = 1, KKMAX + 1

最後に水域合計のHVもいれる (従って KKMAX + 1) となる

I = 1, IHV

HH (I, K)	VV (I, K)
-----------	-----------

 (2F10.4)

HH (I, K) K水域, テーブルI 水位 (m)

VV (I, K) K水域, テーブルI 容量 (×10^{IEXHV} m³)

⑪ IRT (16) ≠ 0 の時 処理場放流量の入力

QO3 (1)	(2)		(K)
---------	-----	-------	-----

 K = 1, KMAX (8F10.4)

QO3 (K) ; K流域の処理場放流量合計 (雨水は含まず) (m³/s)

⑫ IRT (17) ≠ 0 の時 水量タンク孔定数の入力

I = 1, 6 (1 ; 山地タンク, 2 ; 水田タンク, 3 ; 市街地タンク, 4 ; 表層地下タンク, 5 ; 深層地下タンク, 6 ; 河川タンク)

K = 1, KMAX

TL (I, K, 1)	(I, K, 2)	(I, K, 3)	(I, K, 4)
--------------	-----------	-----------	-----------

 (4F10.4)

TL (I, K, J) K流域IタンクJ孔の高さ (mm)

Jは上からの順序 (右図参照)

J = 4は下段タンクへの浸透のため通常 = 0

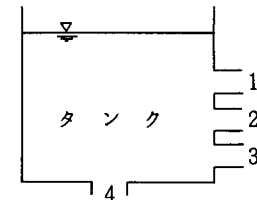
K = 1, KMAX

TA (I, K, J)	(I, K, 2)	(I, K, 3)	(I, K, 4)
--------------	-----------	-----------	-----------

 (4F10.4)

TA (I, K, J) K流域IタンクJ孔乗数

IRT (17) = 1の時 タンク初期水位の入力 (IRT (17) = 2の時は連続計算における前年末の計算水位を初期水位とする)



湖沼流域水量水質循環モデル データ入力マニュアル (9)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

COEQO1 (I, 1)	(I, 2)		(I, K)	K = 1, KMAX (8F10.4)
---------------	--------	-------	--------	----------------------

COEQO1 ; 上記フレームからのK流域排出率 (未処理区)

I = 1, 4

COEQO2 (I, 1)	(I, 2)		(I, K)	K = 1, KMAX (8F10.4)
---------------	--------	-------	--------	----------------------

COEQO2 (K) ; 上記フレームのK流域処理区の流域への還元率

② IRT (21) = 1 の時 湖沼初期水位の入力 (IRT (21) = 2 の時は連続計算における前年末の計算水位を初期水位とする。IRT (21) = 0 の時は前ケースと同じ水位)

HST	(F10.4)
-----	---------

HST ; 湖沼初期水位 (m)

③ IRT (22) = 0 の時 入力終了①へ戻る (水量計算のみの場合)

IRT (22) = 1, 2 の時24へ (前ケースと同じ負荷タンク定数を用いる場合 IRT (22) = 2 の時は連続計算における前年末の残存負荷量を初期暫定負荷量とする)

IRT (22) > 2 の時 負荷タンク定数の入力

RK	(F10.4)
----	---------

RK ; 自浄係数 (1/日) (全タンク, 全水質項目同一)

流送能力 (供給関数) 定数の入力

J = 1, 3 (1 ; COD, 2 ; TN, 3 ; TP)

I = 1, 2, 3, 6 (流域タンク, 山地, 農地, 市街地, 河川の各タンク順)

LA	(J, I, 1)	(J, I, 2)	(J, I, K)	(8E10.3)
----	-----------	-----------	-----------	----------

LB	(J, I, 1)	(J, I, 2)	(J, I, K)	
----	-----------	-----------	-----------	--

LD	(J, I, 1)	(J, I, 2)	(J, I, K)	
----	-----------	-----------	-----------	--

QC	(J, I, 1)	(J, I, 2)	(J, I, K)	
----	-----------	-----------	-----------	--

LM	(J, I, 1)	(J, I, 2)	(J, I, K)	
----	-----------	-----------	-----------	--

LN	(J, I, 1)	(J, I, 2)	(J, I, K)	
----	-----------	-----------	-----------	--

NSTL(1)	(2)		(K)		K = 1, KMAX (16 I 5)
---------	-----	-------	-----	-------	----------------------

NSTL (K) K流域 初期負荷蓄積日数 (日)

K = 1, KMAX (8F10.4)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

$$L_{out} = LA \cdot S^{LB} \cdot Q^{LD} (Q (Q - Q_c)) \quad (\text{流出})$$

$$L_{out} = LM \cdot Q^{LN} \quad (\text{浸透})$$

②④ IRT (23) ≠ 0 の時 雨水水質の入力

CR	(1)	(2)	(3)	(3F10.4)
----	-----	-----	-----	----------

CR (1) ; 雨水COD (mg/ℓ) (2) ; TN (mg/ℓ) (3) ; TP (mg/ℓ)

②⑤ IRT (24) ≠ 0 の時 負荷量原単位の入力

I = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

GNLT	(I, 1)	(I, 2)	(I, 3)	(3F10.4)
------	--------	--------	--------	----------

GNLT (I, 1) ; 山地面源負荷量原単位 (g/km²/日) (I, 2) ; 水田面源負荷量原単位 (g/km²/日) (I, 3) ; 市街地面源負荷量原単位 (g/km²/日)

J = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

GNLF	(J, 1)	(J, 2)	(J, 3)	(J, 4)	(4F10.4)
------	--------	--------	--------	--------	----------

GNLF (J, 1) ; 未処理区家庭負荷量原単位 (g/人/日) GNL (J, 3) ; 未処理区牛負荷量原単位 (g/頭/日)
(J, 2) ; " 工場 " (g/百万円/日) (J, 4) ; " 豚 " (g/頭/日)

J = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

CO3	(J, 1)	(J, 2)		(J, K)	K = 1, KMAX (8F10.4)
-----	--------	--------	-------	--------	----------------------

J = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

I = 1, 4 (上記4項目)

COELO1	(J, I, 1)	(J, I, 2)		(J, I, K)	K = 1, KMAX (8F10.4)
--------	-----------	-----------	-------	-----------	----------------------

CO3 (J, K) ; K流域処理場放流水質 (mg/ℓ)

COELO1 ; 未処理区の各フレームからの水質項目別負荷量排出率 (水量のCOEQO1と対応する)

COELO1と同様のルーチンでCOELO2を読み込む

COELO2 ; 処理区の各フレーム別負荷量還元率

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

②⑥ CRT (25) ≠ 0 の時 網生質負荷量の入力

FLMAM	(1)	(2)		(K)		K = 1, KKMAX (8F10.4)
-------	-----	-----	-------	-----	--	-----------------------

FLMAM (K) ; K水域網生質生産高 (ton/年)

GNLA	(1)	(2)	(3)	(3F10.4)
------	-----	-----	-----	----------

GNLA ; 網生質負荷量原単位 (kg/ton) (1 ; COD, 2 ; TN, 3 ; TP)

PTNAM	(1)	(2)		(M)		M = 1, 12 (8F10.4)
-------	-----	-----	-------	-----	--	--------------------

PTNAM ; 網生質負荷量の月配分比率

②⑦ IRT (26) ≠ 0 の時 内部負荷量の入力

I = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP) として②⑥と同様の入力を行う

②⑧ IRT (27) = 1 の時 河川, 地下, 湖沼の初期水質の入力 (IRT (27) = 2 の時は連続計算における前年末の計算水質を初期水質とする)

I = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

CKS	(I, 1)	(I, 2)		(I, K)		K = 1, KMAX (8F10.4)
-----	--------	--------	-------	--------	-------	----------------------

CKS (I, K) ; K流域初期河川水質 (mg/l)

J = 1, 2 (1 : 浅層地下, 2 : 深層地下)

I = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

CGS	(J, I, 1)	(J, I, 2)		(J, I, K)		K = 1, KMAX (8F10.4)
-----	-----------	-----------	-------	-----------	-------	----------------------

CGS (J, I, K) ; K流域初期地下水水質 (mg/l)

I = 1, 3 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

CLS	(I, 1)	(I, 2)		(I, K)		K = 1, KKMAX (8F10.4)
-----	--------	--------	-------	--------	-------	-----------------------

CLS (I, K) ; 湖沼K水域初期水質 (mg/l)

IRT (27) ≠ 0 の時 湖沼下流側水質 (逆流水質) の入力

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

CBK	(1)	(2)	(3)	(3F10.4)
-----	-----	-----	-----	----------

CBK ; 湖沼下流側水質 (1 : COD, 2 : TN, 3 : TP)

② IRT (28) ≠ 0 の時 出力コントロールの入力

MXK	MXKK	MXI	(3I5)
-----	------	-----	-------

MXK ; 出力流域数

MXI ; 出力流域タンク数

MXKK ; 出力湖沼ブロック数

IPK (1)	(2)		(M)		M = 1, MXK
IPKK(1)	(2)		(M)		MXKK MXが0でもブランクカードを入れる (1615)
IPI (1)	(2)		(M)		MXI

IPK ; 出力流域No

IPKK ; 出力湖沼ブロックNo

IPI ; 出力流域タンクNo (1 : 山地, 2 : 水田, 3 : 市街地, 4 : 浅層地下, 5 : 深層地下, 6 : 河川)

③ IRT (29) = 0 の時 前のケースと同様の水位制限ルールとする。(最初の計算ケースには必ず≠0とする)

IRT (29) ≠ 0 の時

IHSW	(I5)
------	------

IHSW = 1 放流量は実績値使用

M = 1, I2

QOUT (M, 1)	(M, 2)		(M, N)	N = 1, 31 (8F10.4)
-------------	--------	-------	--------	-------------------------

QOUT (M, N) ; 実績日放流量

IHSW > 1 の時 (制限水位を越えた水量を無効放流する。)

J = 1, 2 上限水位, 下限水位の読み

IMAX	(I5)	
M (I)	N (I) H (I)	(2I5, F10.4)

1 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80

IMAX ; 水位設定日数

M (I), N (I) ; 設定日 [M (I) 月, N (I) 日]

H (I) ; 設定水位 (指定日以外は指定日間を内挿する)

③ IRT (30) $\neq 0$ の時 入力条件を出力する

④ IRT (31) $\neq 0$ の時 計算結果 (年表) を出力しない

 = 1 の時 主要項目のみ計算結果 (年表) を出力する

 = 2 の時 全項目の計算結果 (年表) を出力する

河川および湖沼流域における水量・水質 I S S N 0386-5878
解析モデル 土 研 資 料 第2414号
昭和61年10月 (1986)
森北佳昭, 松下越夫

要 旨

河川および湖沼の水質保全対策の基本は流域で発生する汚濁負荷を削減することが第一であると考え。従って、河川や湖沼も含めた流域での水量・水質の把握とその総合的管理手法の検討が重要な研究課題となる。当研究室ではこのような観点から、河川および湖沼流域の水量・水質の予測解析を行うため、以下の2種類の数値解析モデルを作成した。

(1) 河川水量・水質予測モデル (2) 湖沼流域水量・水質循環モデル

本報告書では、これらのモデルを計算プログラムも含めて詳しく紹介するとともに、実流域に適用した結果等について報告するものである。

キーワード：水量・水質管理、流出モデル、水収支モデル、堆積負荷評価モデル、準線形化手法、制約条件付非線形最適化手法、貯留関数法、タンクモデル、流送能力・供給関数型モデル、システムダイナミクス法

郵便はがき

下を40
さは円
いっ切
て手

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
水資源開発研究室
御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2414号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

印

