

ISSN 0386-586X

土 木 研 究 所 彙 報

TECHNICAL NOTE OF PUBLIC WORKS RESEARCH INSTITUTE

第53号

Vol. 53

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

Tentative Manual of Survey of Comprehensive Loadings of Rivers

平成元年11月

1989

建設省土木研究所

Published by

Public Works Research Institute, Ministry of Construction

Copyright ©1990 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、複製は、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。

河川の総合負荷量調査実施マニュアル (案)

中村 栄一*
長谷川 清**
小森 行也***

Tentative Manual of Surray of Comprehensive Loadings of Rivers

by Eiichi NAKAMURA
Kiyoshi HASEGAWA
Kouya KOMORI

要 旨：

河川の水質は、流域の水文条件や社会活動によって影響を受けるが、河川の汚濁状況を正しく捉えるためには、水質よりもむしろ汚濁負荷量を把握することが必要である。本研究は技術管理業務連絡会水質部会のテーマとして、流域の上流から下流まで、また低水時から高水時までの河川の負荷量を調査する方法の整理を行い、追試により調査方法として優れたものをまとめ、マニュアル化を図ったものである。

キーワード；河川水質，汚濁負荷量，発生負荷量，流量，調査マニュアル

Synopsis：

River water quality is affected by hydrological conditions and social activities in the river basin. Characteristics of pollutant loadings should be recognized to identify correctly the pollutional situation of the river. This paper summarizes the methods of loading survey in the river as well as in the basin. The study was conducted as a joint research of Water Quality Branch, Construction Technology Management Committee, Ministry of Construction.

Key Words； water quality, pollutant loading, mass balance, survey manual.

-
- * 下水道部水質研究室 室長
 - ** 同主任研究員
 - *** 同研究員

序

この「河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)」は、水環境管理計画、汚濁負荷量削減計画、下水道整備総合計画等を立案する際に必要となる河川全体の負荷量収支を総合的に把握するための具体的調査指針である。

マニュアルの作成にあたっては、既往の文献や知見を整理し、それらを各地建てのモデル河川について行った具体的調査の結果で検証し、河川行政担当者の調査指針となるようとりまとめた。

なお、とりまとめは建設省技術管理業務連絡会水質部会で行った。部会の参加機関および執筆者は次のとおりである。

建設省河川局河川計画課 河川環境対策室

益子 恵治 山田 俊郎 山口 修 山口和一郎 尾白 和昭 佐藤 伸吾

建設省土木研究所 下水道部水質研究室

中村 栄一 長谷川 清 小森 行也 古賀 俊行 安中 徳二

北海道開発庁北海道開発局 開発土木研究所 環境研究室

玉川 尊 西畑 健一 吉岡 紘治

建設省東北地方地建局東北技術事務所 水質試験課

佐藤 強 松村 金夫 高橋 京子 永谷 牧 飯塚 久夫

建設省関東地方地建局関東技術事務所 水質試験課

矢野 明 吉田 益三 田島 正八 阿部 辰数

建設省北陸地方地建局北陸技術事務所 水質試験課

今井 義鷹 吉川 進 清水 清文 柴田 定信

建設省中部地方地建局中部技術事務所 水質試験課

島岡 兼政 林 功治 平井 文章 安部 良一

建設省近畿地方地建局近畿技術事務所 水質試験課

古見山 芳男 田村 くに江 島田 仁

建設省中国地方地建局中国技術事務所 水質試験課

兼好 孝 中尾 豊 鎌田 馨 宮本 敏明 向田 隆史

建設省四国地方地建局四国技術事務所 水質試験課

井町幸次郎 阿部 保 伊井 貞博 田中 金春 布 照明

建設省九州地方地建局九州技術事務所 水質試験課

宮本 輝雄 山本 隆利 池辺 豪 大山 利章 高倉 香 長野 眞理子

目 次

第1章 河川の総合負荷量調査の意義と目的	1
1.1 調査の意義と目的	1
1.2 マニュアル（案）の適用方法	1
第2章 調査方法	3
2.1 調査計画	3
2.1.1 河川の水質汚濁機構	3
1) 水質汚濁の種類	3
2) 汚濁機構	3
3) 自浄作用	5
2.1.2 負荷量の種類	5
1) 発生負荷量	5
2) 排出負荷量	5
2.1.3 調査計画の立て方	6
1) 事前の資料収集	7
2) 事前調査の範囲と必要性	7
3) 調査計画の立案	7
2.2 調査の実施方法	9
2.2.1 調査流域の背後調査	9
1) 社会特性調査	9
2) 河川基本特性調査	16
3) 自然地理特性調査	19
2.2.2 発生汚濁負荷量調査	23
1) 生活排水からの汚濁負荷	23
2) 工場排水からの汚濁負荷	25
3) その他の事業所からの汚濁負荷	29
4) 畜産排水からの汚濁負荷	30
5) 観光排水からの汚濁負荷	34
6) 農地からの汚濁負荷	35
7) 市街地からの汚濁負荷	40
8) 山林からの汚濁負荷	43
2.2.3 排出汚濁負荷量調査	46
1) 実測による排出負荷量の調査	46
2) 算定による排出負荷量の求め方	48
2.2.4 河川の汚濁負荷量調査	50
1) 非感潮河川での調査	50
2) 感潮河川での調査	55
2.2.5 浄化特性調査	59
1) 自浄作用	59
2) 内部生産	61
2.2.6 底質調査	63
1) 底泥（ヘドロ）堆積量調査方法	64

2) 底質の分析方法	66
3) 溶出速度の測定方法	68
第3章 解析方法	70
3.1 負荷量収支の解析	70
3.1.1 定常時（晴天時）の負荷量解析	70
1) 流達率	70
2) 浄化残率，流出率	70
3) 流出率，浄化率の計算例	72
3.1.2 非定常時（雨天時）の負荷量解析	72
3.1.3 感潮河川の負荷量解析	73
3.1.4 負荷量収支図	76
3.2 統計解析の方法	82
3.2.1 BODの脱酸素係数	82
3.2.2 BOD反応に関する温度補正係数	86
3.2.3 BODの減少係数	86
3.2.4 硝化に伴うBODの脱酸素係数	88
3.3 数理解析の方式	90
3.3.1 拡散方程式の誘導	90
3.3.2 拡散方程式の解	92
3.3.3 拡散係数の推定	93
3.3.4 自然河川における汚濁解析	95
参考文献	98

図表一覧

- 図-1・1 水質汚濁防止対策
- 図-1・2 調査対象河川
- 図-1・3 調査対象流域
- 図-2・1 流域の負荷と河川汚濁機構概念図
- 図-2・2 調査手順と把握項目の関連図
- 図-2・3 背後調査の流れ図
- 図-2・4 団地からの流量及び発生負荷量の時系列変化
- 図-2・5 家庭污水観測装置例（その1）
- 図-2・6 家庭污水観測装置例（その2）
- 図-2・7 Sスーパーマーケットの肉類販売店からの排水量と負荷量
- 図-2・8 Y学校給食センターの用排水量調査結果
- 図-2・9 温泉ホテル排水の汚濁負荷量
- 図-2・10 家畜排水による汚濁負荷の発生と排出機構
- 図-2・11 畜舎からの汚濁負荷発生機構
- 図-2・12 月別宿泊観光レクリエーション回数
- 図-2・13 水田の使用水量の月別変化
- 図-2・14 水稻栽培暦の一例
- 図-2・15 水田からの発生負荷量の調査方法
- 図-2・16 連続調査による用排水量の経時変化
- 図-2・17 市街地での降雨と流出負荷量との関係
- 図-2・18 市街地での汚濁負荷流出特性調査地点図
- 図-2・19 路面散水実験概要
- 図-2・20 土器川流域の概要
- 図-2・21 調査区域の地形と観測地点
- 図-2・22 降雨による負荷量
- 図-2・23 年間の晴天日及び出水日での汚濁負荷量とその形態
- 図-2・24 更生係数（ a ）と $B/\bar{H}$ との関係
- 図-2・25 小排水路での流量観測例
- 図-2・26 小排水路での $H-Q$ による流量観測例
- 図-2・27 河川の負荷量横断分布調査のための採水箇所
- 図-2・28 河川汚濁負荷量調査区間（信濃川）
- 図-2・29 横流入がある河川の流速とBODの濃度と分布
- 図-2・30 BODの通過量分布
- 図-2・31 流量、水質及び負荷量の時系列変化
- 図-2・32 地点別流出負荷量の算定モデル
- 図-2・33 流量と負荷量との相関
- 図-2・34 潮位変化図
- 図-2・35 河口域における海水と河川水の混合状態
- 図-2・36 感潮区間における導電率の横断分布
- 図-2・37 太田川と古川の水質の経時変化
- 図-2・38 大型還流水路実験装置
- 図-2・39 還流水路でのDO、水温の測定結果

- 図-2・40 還流水路での一次生産量 (ρ) の変化
- 図-2・41 自重落下式サンプラー
- 図-2・42 ヘドロ探層機のブロック図
- 図-2・43 ヘドロ堆積厚の調査例
- 図-2・44 表層底泥の採泥器
- 図-2・45 底泥溶出実験装置
- 図-2・46 現場用溶出速度測定器
- 図-3・1 汚濁負荷の流下経路
- 図-3・2 ブロック別流達率 (BOD)
- 図-3・3 K_r/K_1 と平均流速 (H) の関係
- 図-3・4 BOD負荷流出率と人口密度/ (流域面積)^{1/2} との関係
- 図-3・5 流量と負荷量の関係 (太田川)
- 図-3・6 調査地点
- 図-3・7 流量収支
- 図-3・8 流量収支図
- 図-3・9 負荷量収支図
- 図-3・10 負荷量変化図
- 図-3・11 筑後川の負荷量収支図 (例)
- 図-3・12 筑後川の負荷量収支モデル図 (例)
- 図-3・13 $L_L - K_r$ 曲線
- 図-3・14 K_r/K_1 と平均流速 (V) の関係
- 図-3・15 K_r/K_1 と平均水深 (H) の関係
- 図-3・16 質量のフラックス
- 図-3・17 $x = x_1$ において測定されたトレーサー物質濃度変化
- 図-3・18 リチウム濃度の経時変化
- 図-3・19 $C/C_{\max}$ と $(x_1 - Ut)^2/4t$ の関係
- 図-3・20 河川断面
- 図-3・21 横流入における汚濁物質の広がり
- 図-3・22 汚濁物質濃度分布 (河幅方向)
- 図-3・23 q/Q と z/B の関係
- 図-3・24 C と q/Q の関係
- 表-2・1 各特性と必要資料の内容
- 表-2・2 流域内人口集計表
- 表-2・3 流域内産業の事業所数及び従業者数
- 表-2・4 作物別作付面積
- 表-2・5 家畜の飼育状況と排水状況
- 表-2・6 個別事業所と排水状況
- 表-2・7 各種の製造工場関係
- 表-2・8 その他事業所の調査表
- 表-2・9 卸売り、小売り業の負荷量調査表
- 表-2・10 飲食店、サービス業の負荷量調査表
- 表-2・11 流域内土地利用状況
- 表-2・12 污水处理施設の処理状況
- 表-2・13 流域の特性調査表
- 表-2・14 河川の特性調査表

表-2・15	流量状況調査表
表-2・16	河川水質状況調査表
表-2・17	治水及び利水施設状況の調査表
表-2・18	地形分類基準及び定義
表-2・19	表層地質の分類基準
表-2・20	流域内の植生自然度調査表
表-2・21	植生自然度階級表
表-2・22	流域内気象状況
表-2・23	背後調査に関する資料一覧
表-2・24	家庭排水実態調査アンケート
表-2・25	家庭汚水原単位調査結果
表-2・26	工場排水の原単位
表-2・27	家畜排泄物の原単位
表-2・28	成畜の日平均排泄量
表-2・29	体重別養豚糞尿の原単位
表-2・30	体重別家畜糞尿の原単位
表-2・31	家畜糞尿の原単位
表-2・32	家畜の原単位
表-2・33	宿泊観光レクリエーションの旅行先での行動の意向
表-2・34	都市型ホテル、ビジネスホテル、割烹旅館等の調査事例
表-2・35	旅館業汚濁原単位
表-2・36	ホテルにおける（便污水）＋（厨房排水）の濃度と汚濁負荷原単位（例）
表-2・37	水田の原単位
表-2・38	水田の原単位
表-2・39	水田調査箇所の概要
表-2・40	畑の原単位
表-2・41	地点別水質の時間変化
表-2・42	偏回帰係数と重相関係数
表-2・43	雨水流出に伴う都市域からの汚濁負荷量
表-2・44	負荷量のLQ相関
表-2・45	山地からの流出負荷原単位
表-2・46	耕地、山地、森林等からのN、P負荷
表-2・47	合併処理浄化槽からの排出負荷量
表-2・48	モデルケース（BOD負荷量対象）
表-2・49	河川横断面での水質分析結果
表-2・50	全区間負荷量に対する流心1点法の誤差
表-2・51	日本各地の潮汐定数
表-2・52	表面浮子による流下時間の測定
表-2・53	流下35mに要する時間と平均流速
表-2・54	大型模型実験の実験条件
表-2・55	一次生産量の計算値と実測値
表-2・56	ヘドロの定義の違いによる堆積量の比較
表-3・1	流達率の標準値
表-3・2	年間平均負荷量に関する流達率
表-3・3	実測データ

表-3・4	K_1 , L_0 の計算結果
表-3・5	各水温における K_1 の値
表-3・6	酸素消費量測定結果
表-3・7	現地調査結果
表-3・8	差分式の具体例
表-3・9	測定結果
表-3・10	計算結果

第1章 河川総合負荷量調査の意義と目的

1.1 調査の意義と目的

河川的环境は水を主体とする水環境と空間を主体とする空間環境から構成され、地域社会の生活環境の形成に大きな役割を果たしているが、近年、水需要の増大や河川に排出される汚濁負荷量の増大に伴い、水量・水質などの河川環境面において、少なからぬ問題が発生し、その保全と回復が望まれている。また、環境用水の導入等による良好な水辺環境の創造に対する社会的要請も高まってきており、秩序ある水環境、水利用システムの早急な構築が望まれている。

そのためには、①流域の土地利用、②河川の水理特性、③汚濁、浄化特性、④河川及び河川からの取排水の水量及び水質の状況、⑤水利用の用途に応じた水質等を勘案しながら将来の水量及び水質の予測を踏まえて、水量及び水質を流域全体として一体的かつ総合的に管理していく必要がある。

河川等の水質管理では、流域の土地利用、河川の水質特性、汚濁、浄化等を勘案し総合的に管理していく必要がある。特に、河川水質を左右する汚濁負荷量の実態を総合的かつ的確に把握することは、汚濁負荷量に関する諸規制、水質の保全に関する計画の策定、水質に関する調査、研究等を進める上で基本的かつ重要なことである。

現在、水質汚濁防止に係わる対策は主に図-1・1に示すようになっているが、「河川総合負荷量調査マニュアル(案)」は、これら対策を推進するうえで基礎データとなる汚濁負荷量を総合的かつ的確に把握するため、土木研究所、北海道開発局、並びに各地方建設局がそれぞれモデル河川を選定し、河川の総合負荷量調査を実施した上で、その結果に基づいて調査実施の技術的問題等の検討を加え、その調査・計画、解析方法等についてとりまとめたものである。

今後、豊かでうるおいのある水辺環境の形成のために、また、人々の快適な生活環境を確保する上でも各種の水質保全対策を総合的に推進していく必要がある。

1.2 マニュアル(案)の適用方法

本マニュアル(案)は対象とする流域の総合負荷量調査を行うための指針であり、1級河川、2級河川等の区別なく全ての河川に対して適用できる。また、総合負荷量調査の対象となる範囲は、調査対象とする河



図-1・1 水質汚濁防止対策

川の最下流に設置されるチェックポイントよりも上流域である。このチェックポイントとは一般に環境基準点等を準用することが多いが、中小河川や、支川の流域調査を行う場合環境基準点が設定されていないことがある。こうした場合は、調査目的に合うよう新たに基準点を設定する。

あらゆる河川とは、海域や潮沼等に流入している河川に限らず、その中の支川も一つの河川としてみることができる。例えば図-1・2に示すように、本調査の対象河川として、本川Aのみに限らず、支川Bも一つの河川として対象とすることも可能である。

調査の範囲は図-1・3に示すように、流域全体を原則とするが、基本的な考え方として、調査対象河川に係る負荷量全てが把握できることが必要不可欠である。したがって、水及び土地の利用状況や生活圏、行政区域、将来計画等も考慮し、現在流域外でも一体として調査すべき範囲は含める。例えば下水道整備による他流域の取り込みや、当該流域からの持ち出し、し尿運

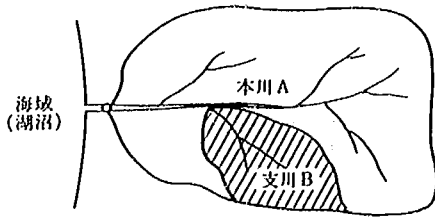


図-1・2 調査対象河川

搬車等による他流域からの持ち込みや、他流域への持ち出し、他流域からの導水等、対象河川の流域の内外から影響を受ける全ての条件についても考慮しなければならない。

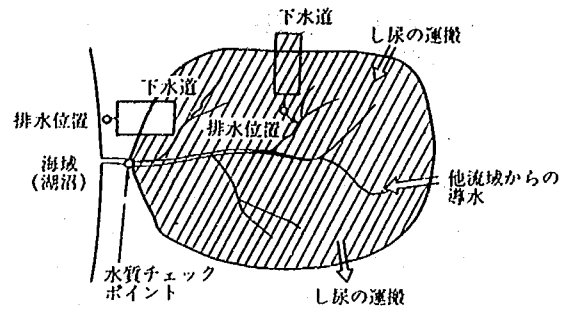


図-1・3 調査対象流域

第2章 調査方法

2.1 調査計画

2.1.1 河川の水質汚濁機構

河川の水質汚濁は流域内に存在する様々な汚濁発生源から発生する負荷量が、処理後又は無処理で水路、支川等へ放流され、本川へ流出する過程で生ずる。水質汚濁の実態を明かにするということは、発生源での発生負荷量、流出負荷量、河道内での浄化量あるいは浄化作用を受けた後の浄化残量などを定量的に把握することである。

しかし、これら各種負荷量は、河川の流量、時刻あるいは季節によって変動するので、これら変動要因も包含した、総合的調査が必要となる。

1) 水質汚濁の種類

河川の水質汚濁を原因別に分類すると、自然汚濁と人為汚濁に大別することができる。更に、人為汚濁によるものには原因が多岐にわたっており、有機汚濁物質、栄養塩類による汚濁、毒物汚染、油汚染、濁水、熱水汚染等がある。また、降下ばいじんや酸性雨等も流域によっては重要な汚濁源となる可能性がある。

以下に、本マニュアル(案)で対象とする主な水質汚濁について若干説明する。

(1) 自然汚濁

自然汚濁とは、山林、原野など人為的な汚濁源のあまりない地域からの汚濁物質流出による水質汚濁であり、一般に、有機物質よりも窒素、リン等の負荷が問題となる。これらの流出負荷量は、対象流域の地質、地形(勾配)、植生及び降雨強度などの因子によって影響されると言われている¹⁻⁵⁾。

(2) 有機物質による汚濁

生活系の排水、畜産排水、製造業などの排水によってもたらされる有機物質負荷による汚濁で、BOD、COD又はTOCなどの値で評価されるのが普通である。なお、PCB、塩素系農薬などの毒物についてはここでは取り扱わない。

(3) 栄養塩類による汚濁

窒素、リン等の栄養塩類等による汚濁である。栄養塩類の主要な発生源は生活排水の処理水、家庭雑排水、工場・事業所排水、水田等からの肥

料流出などである。

(4) 毒物汚染

毒性物質には重金属類、シアン、PCB、農薬などがある。これらの毒性物質による汚染については本マニュアル(案)の調査項目に含めない。油汚染も同様である。

(5) 濁質による汚濁

一般にSSとして測定される濁質については、洪水時、融雪時における多量の水によって表層土壌や河床堆積物が洗掘されることによって水域に運ばれる。このため、汚濁源の少ない上流域における自然河川でも、下流部の都市河川においても生じる現象である。また、SS成分中には有機物、栄養塩類も含まれているので、新たな汚濁源となる可能性もある。

2) 汚濁機構

河川の汚濁機構を調べる場合、まず、水の流れを考える必要がある。図-2・1は流域の負荷と河川汚濁機構の概念図を示したもので、地上に降った雨は流出するものと、地下に浸透するもの及び蒸発するものに分けられる。

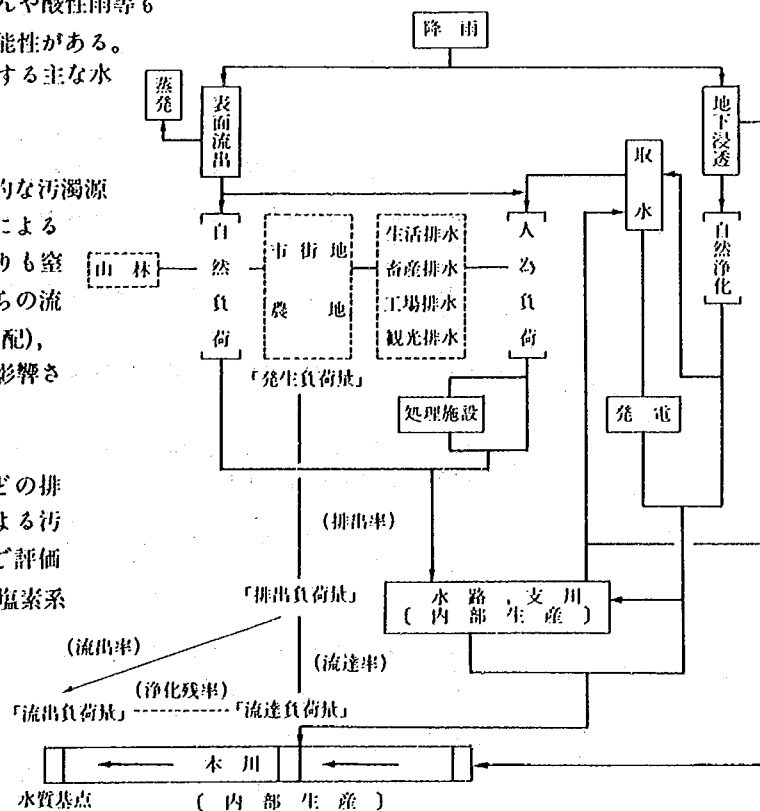


図-2・1 流域の負荷と河川汚濁機構概念図

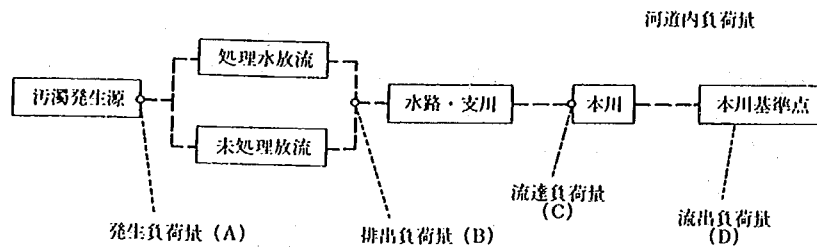
表面流出水は山林では自然負荷として、また田畑、市街地では人為負荷としての汚濁負荷を流出させ、水路、支川等に流れこむ。この場合には発生負荷量を排出負荷量とみることができる。

一方、地上に降った雨の一部は地表に溜まるが、地表を流下する際地下に浸透し、自然浄化され地下水となり、その一部は中間流出あるいは地下水流出として再び河川に流出してくる。

次に、人為的作用により河川から取水された水の一部は農業用水として使用され人為的負荷を下流の河川に排出する。また、一部は水力発電として利用され河川に戻る。一方、取水された河川水や地下水は人工的に浄化され水道水や工業用水として用いられる。そこで使用された水は、人為的に汚濁負荷を付加され、その段階で発生負荷量となる。この発生負荷量が、発生源で処理又は、別途処理（運搬）及び管路で下水処理

場へ運搬され処理されて河川に排出される。この処理された排水からの汚濁負荷を排出負荷量という。また、無処理のまま直接河川に排出される場合は発生負荷量と排出負荷量は同じである。ここで、発生負荷量に対する排出負荷量の割合を排出率という。

水路、支川に排出された汚濁負荷が本川に到達した時の量を流達負荷量といい、排出負荷量に対する流達負荷量の割合を流達率という。次に、本川への流達汚濁負荷がその下流の水質チェックポイントに達した時の量を流出負荷量として表わし、流達負荷量に対する流出負荷量の割合を浄化残率という。浄化残率とは逆に、流出負荷量と流達負荷量の差の流達負荷量に対する割合を浄化率という。また、排出負荷量に対する流出負荷量と割合を流出率という。これをまとめると次のようになる。



排出率 = $\frac{(B)}{(A)}$ 値が0%に近づく程、処理は行われており、100%に近づく程、発生負荷量は未処理のまま放流されていることを意味している。

流達率 = $\frac{(C)}{(B)}$ 水路、支川の本川までの長さ、形態及び汚濁物質の種類により大きく変動する。

浄化残率 = $\frac{(D)}{(C)}$ 河川の自浄作用を受けた後に残存する量の流達負荷量に対する割合。

浄化率 = $\frac{(C)-(D)}{(C)}$ 流達負荷量に対する、河道内で浄化される量の割合。

流出率 = $\frac{(D)}{(B)}$ 流出率は、排出負荷量が本川の基準点に到達する割合と定義している。このため次式より求まる。

$$\text{流出率} = \text{流達率} \times \text{浄化残率} = \frac{(C)}{(B)} \times \frac{(D)}{(C)} = \frac{(D)}{(B)}$$

以上の定義は流域別下水道整備総合計画調査指針と解説による。

次に河道内での状況を考えると、河川に流出した汚濁物質中の懸濁物は流量の少ない時、即ち流速の小さい時には沈澱して、水質は良くなる。しかし、流量増加時には懸濁物が舞い上がると同時に懸濁物から汚濁物質が溶出し水質を悪化させる。しかも流量増加時の負荷量が年間総負荷量に対して占める割合が大きいいため、この負荷量を把握することが重要である。

河道内においては、このような懸濁物のみでなく付着生物の剥離あるいは底泥からの溶出等による負荷量も加わる。

なお、長期渇水で流量が極めて少なくなると負荷量としては、それほど大きくなくても一般的に水質は悪化する傾向を示すことが多い。

3) 自浄作用

有機汚濁排水が河川に流入するとその流入地点の水質は悪化するが下流に行くに従って水質は徐々に良くなり、ある一定の距離を流れると排水が流入する前の水質に戻ることがある。これはよく知られている現象で、一般に自浄作用と呼ばれている。

この自浄作用は、汚濁物質が希釈、拡散、沈澱、吸着等の物理的作用や酸化反応等の化学的作用あるいは微生物による生物分解等により減少するためである。本マニュアルでは、これら全ての作用を含めて浄化作用として捉えることとする。

2.1.2 負荷量の種類

河川に流入する汚濁負荷には、山林、原野からの自然負荷と生活系や産業系からの人為的負荷があり、産業系からの負荷は産業分類法に従って調査すると便利である。また、汚濁物質の発生形態を基にして、点源負荷と面源負荷とに分ける方法もある。

一般に点源負荷は生活排水、工場排水などのように発生源を特定できるものである。面源負荷は、逆に発生源が特定できないような性格を有し、山林、原野、農地、市街地から本川への流入が考えられる。

これら、河川の外部から持ち込まれる負荷を外部負荷と考えれば、河床付着物の剥離、プランクトン、水棲生物の排せつ物、遺骸及び分解物、底泥の巻上げ、溶出など河道内での生産物、すなわち内部負荷も考慮しなければならない。なお、各種汚濁量を測定する場合、流量と水質を測定しなければならない。なお本論の水質の分析は原則として河川水質試験方法(案)⁷⁾に従うものとする。

1) 発生負荷量

発生負荷量は、処理を行う前の発生源で発生する負荷量のことであり、山林、農地、市街地のような面的

拡がりをもつ面源負荷量と生活排水、工場排水等汚濁源を特定できる点源負荷量がある。これはまた、山林野から発生する自然負荷量と人間活動によって生じる人為負荷量に分類される。

面源負荷量は降雨時の表面流出によってもたらされるもので、山林、農地及び市街地に降った雨が流出する時、土粒子及び汚濁物質が流出する。原単位で表す場合、 $\text{kg/km}^2 \cdot \text{日}$ で示すが、出水時の降雨強度に強く影響されるだけでなく、地形、地質、植生の条件も影響するので、一般的なモデルで推定するのは現状では難しい。

点源負荷量は主に人為負荷量であり、生活排水、畜産、工場等で発生するものが挙げられるが、これらのとらえ方としては、一般に原単位法が用いられる。これは、水質測定項目、例えばBODについて、人なら一人当たり、畜産では牛なら一頭当たり、工場においては単位出荷額当たり、一日にどの位の負荷量を排出するか、あらかじめ平均的な値を調べておき、あとは人口、家畜数、出荷額等を調査することによって、全体量を推定する方法である。

2) 排出負荷量

排出負荷量は、一般的には人為的な発生負荷量が処理されて排出されるものであり、採用されている処理方法によってその処理能力は異なることから発生負荷量に対する排出負荷量を一律に決めることはできない。このため、実測を行なう方が望ましい。

なお、実測する場合には、負荷量の時間的排出パターンに注意する必要がある。生活排水については日変動や季節変動が、事業場排水については日変動と週変動が考えられる。工場排水については日変動と週変動に加えて、業種によっては季節変動が、更に景気の動向による影響も考慮する必要がある。

(1) 自然汚濁負荷

自然負荷量は前述したように、汚濁源が面的拡がりを持ち、汚濁物質は雨水によって流出するという特長を持っている。

ただし本マニュアル(案)では、都市域からの面的負荷は人為的負荷として取り扱うことにした。すなわち、ここでの自然汚濁負荷は、山地河川を含む流域を対象とし、負荷の流出に大きな影響を与える因子、降雨量、降雨強度(積雪量)、地形、地質、特に表層地質、植生、気象条件などを十分把握する必要がある。

(2) 生活排水からの負荷

人間が生活を営んでいくうえで、食生活、風呂、便所など生活過程で水を利用し排水している。これらか

ら発生するものが生活排水からの負荷である。都市と農村地区からの生活排水による負荷量は、地域特性による違いがみられる。また、生活水準の向上などにより変化するため将来的にも変化していく。特に都市については昼間と夜間で水を利用する人口の差が大きく負荷量も大きく変わる。

生活排水の負荷量を形態別にみると直接排水、下水道、し尿処理場、し尿浄化槽、合併式浄化槽などがあり、これらに対応した調査が必要である。

(3) 工場排水からの負荷

工場では製品を生産していく過程において、使用した水に発生負荷量を付加して排出している。工場排水からの負荷は、生産する製品などの業種、生産量によって変化し、また生産工程によっては週間、季節的にも変化する場合がある。汚濁負荷量の大きい業種は、食品、紙パルプ、化学繊維染色、皮革などである。工場からの排水に対しては、排水規制などにより処理施設を経て、工場外に排出されるため発生汚濁負荷量と共に排出汚濁負荷量の調査が必要である。

(4) 畜産排水からの負荷

畜産排水からの負荷は、主に牛豚および大規模な養鶏畜舎と魚類などの養殖の過程から排出される。畜産排水からの負荷量は、畜産における飼育形態により変化し家畜の種類と頭数およびし尿の処理状況に大きく左右されるので、畜舎などの飼育形態の調査が必要である。

(5) 観光排水からの負荷

観光客が観光施設などを利用する過程から出る排水がある。これらから発生するものが観光排水からの負荷である。

観光排水からの負荷量は、観光客の滞在状況（日帰り、宿泊）、観光施設の目的の違いなどにより相当の差異があり、特に温泉関係は旅館等からの負荷量が大きく季節的な変化もある。

(6) 農地からの負荷

農地である田畑では農産物を生産する過程において肥料や農薬を利用し、多量の水を利用している。これらから発生するものが農地排水からの負荷である。農地排水からの負荷量は、田畑の面積、肥料の種類と量、使用期間などにより変化する。使用水は、畑、果樹園では地下に浸透し、その一部が表流水として排水される。水田についてはかんがい期(特に代掻き期)、非かんがい期で水の使用状況が大きく異なる。

(7) 市街地からの負荷

市街地においては、塵埃など飛散した汚濁物は道路、

宅地、屋根などに堆積する。この市街地の面的に堆積した汚濁物質が降雨時に流出するがこの負荷量が市街地からの負荷である。このため、流域内の雨水管の経路、集水域を調べておく必要がある。また宅地、商業地、工業地等市街地状況によって流出負荷量に違いがある。

なお、市街地においては、社会生活を営むなかで多量の水を利用し排出している。例えば、店舗、学校、病院、ホテル、ガソリンスタンド、公衆浴場、公共事務所、駅、クリーニング店、給食センターなどは水の使用量が多い。これらから発生する汚濁負荷は、一部個人的に処理されているが、ほとんどは下水道で処理されているので、生活排水や工場排水からの負荷で取り扱うほうが望ましい。

3) 河道内負荷量

河道内負荷量は、水路等から河川へ流入した排出負荷量の一部が沈殿堆積したもの、あるいは河道内で生成した付着生物の剥離、プランクトン、水棲生物の排泄物、底泥の巻上げあるいは溶出等を合わせたものである。

通常、我々の知ることができるのは、測定地点における瞬間的な負荷量（瞬時負荷量）のみである。正確な負荷量収支を求める場合、負荷量はいつでも一定ではなく、実際には発生源においても、また、河川においても規則的にあるいは不規則的に変化するのが普通であるので、調査頻度をできるだけ密にする必要がある。

しかし、多くの地点について多数の項目を繰り返し調査するのは労力的にも経済的にも困難である。それゆえ必要最小限の調査で所要の成果が得られるようにしなければならない。

2.1.3 調査計画の立て方

河川の総合負荷量調査は、負荷量の発生地点から、河川の下流に設定された基準点までの負荷量の流れを明らかにするために実施するものである。すなわち、対象流域内の発生量と排出量及び流下過程での変化を解明することを目的としている。そして、調査を行う者は図-2・1の流域の負荷と河川汚濁機構概念図を基に、負荷量の流れを次のような観点からとらえることが重要である。

イ、どこで、何によって、どれだけの負荷量が発生しているか。

ロ、発生負荷量は、どのような処理を経て排出されているのか。

ハ、未処理の排水の種類とその量はどのくらいか。

ニ、水路、支川等に排出された負荷量は、本川合流地点まで流下する間に、どの程度浄化されるか。

ホ、本川において、流入負荷量はどの程度、自浄作用により浄化されているのか。

このような観点を基に、社会特性、河川特性、自然地理特性に関する必要な資料の収集を行う。

また、データの収集、解析を円滑に行なうために、流域を適当な大きさのブロックに分割したり、調査地点、調査項目の選定及び調査の手順を決めることが大切である。

1) 事前の資料収集

河川の水質汚濁に関する要因には、汚濁負荷量に直接影響する発生源での汚濁発生量、排出量があり、社会特性に関する資料が必要となる。また、汚濁物質の輸送、沈澱、分解等の影響を与える流量などの河川特性及び自然地理特性に関する資料も必要である。表-2・1に各特性の主な資料内容を示す。

2) 事前調査の範囲と必要性

河川の総合負荷量調査はあらかじめ河川の汚濁要因を考慮し、その汚濁要因の背景となる調査と水質に関連した水循環の実態、機能状況の調査から始める。したがって、事前調査はその調査目的にあわせて必要な範囲を決めることになる。例えば河川の汚濁負荷量は、河川からみた場合と発生源からみた場合とに大別でき、前者は実測値データから汚濁負荷量が把握できる。後者についての汚濁負荷量を実測値データから把握するには汚染源が多様であり困難である。実際の調査では代表する部分を調査し、事前調査で調べた結果を基にして詳しい調査を行うので調査項目が多くなる。よって必要最小限の調査で所要の成果を得るためには調査目的から調査方法を決め、事前の調査は各項目毎に整理し、範囲を定めて調査する。

河川の負荷量の基本である水質と流量はたえず変動している。その変動パターンは日変化、週変化、季節変化、降水量変化などがあり、水温、日照などの影響もある。これらの資料は事前に10年間程度の長期的なデータを確保しておくことが良い。

調査区域の範囲は対象河川の流域全体とするが、対象河川に関わる負荷量についても全てが把握できることが望ましい。河川水の利用状況、土地利用状況、生活圏の動向、行政区域、将来計画などを考慮し、流域外でも一体として調査すべき範囲も考慮することも必要である。

表-2・1 各特性と必要資料内容

項 目	主 な 内 容
社会特性	・土地利用状況 ・人口 ・下水道、浄化槽など污水处理施設状況 ・工場、事業所の排水状況 ・畜産排水状況 ・農地排水状況 ・河川の状況
河川特性	・流域の特性 ・流量状況 ・水質状況 ・治水、利水施設状況
自然地理特性	・地形、地質、植生等の状況 ・気温、雨量、日照等の資料

事前調査の結果に基づき、調査しようとする項目を整理し、予備調査として流況、水質状況を観察するため現地踏査をする。現地踏査の結果をふまえて、流入負荷が大きいと思われる要因に対して、十分なデータがない場合には別途補足調査を行うことが望ましい。

3) 調査計画の立案

調査計画の立案の前に、調査の趣旨を明確にしたうえで調査すべき事項を図-2・2に示した調査項目から適宜選択し、必要な調査方法を定める。各々の調査が河川総合負荷量全体フローの中でどのように位置付けられ、かつ関連があるかを明確にし、事前調査で得た資料と予備調査をもとに流域ブロックの分割、調査地点の選定、調査項目の選定を行ない調査手順を決める。調査計画の立案にあたっては下記に述べる順序に基づき、適宜選択して行う。

(1) 事前調査資料の整理

河川の総合負荷量調査の実施に当たっては、河川環境基本計画、事業関連調査などの目的により、調査方法に多少の違いはあっても、汚濁負荷量の実態を正確につかむことが重要になる。従って現状を把握するため既存の調査データをもとに汚濁域及び河川の水理、水質特性を整理し、汚濁負荷要因のポイントを把握できるようにする。

(2) 予備調査

事前調査により、汚濁負荷量の実態を考慮し、調査を実施しようとする範囲をあらかじめ平水時と洪水時の2回程度は踏査し、流況、水質状況を確認するなど調査範囲をできるだけ詳細に観察しておく。また、事

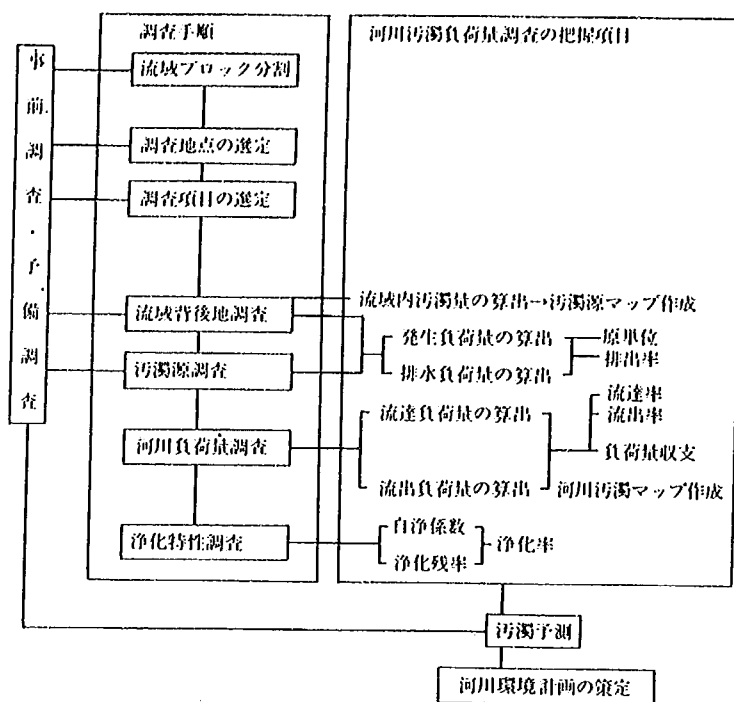


図-2.2 調査手順と把握項目の関連図

前調査でもデータが不足する場合は、補足調査を行ない、これらの結果をふまえて負荷影響の大きいと思われる因子のランク付けなどを行う。

③ 流域ブロックの分割

流域ブロックの分割は、事前調査資料を活用できるように考慮しつつ、分割することによって負荷量の特徴が把握でき、データの集計が容易に行なえるよう考慮する必要がある。分割方法には、次のものがある。

イ、地形的分割

ロ、行政区域的分割

ハ、メッシュ分割

これらの分割方法には、それぞれメリット、デメリットがある。一般には地形的分割と行政区域的分割を組み合わせたものが妥当である。つまり川を縦断的に一定区間または一定流域面積の区分毎に分割すれば河川の特徴は把握しやすいが発生負荷量の把握は難しい。一方、行政区域毎にすれば統計的資料が整理されているものが多くあり、汚濁源はつかみやすい。これら双方の利点を有効に生かした次の手順で流域ブロックの分割を行う。

イ、対象流域内の主な支川の流域界を記入する。

ロ、対象流域の市町村及び行政区の境界を記入する。

ハ、事前調査による流量、水質データの調査地点、

主要な発生汚濁地点及び排水路、土地利用実態などを記入する。

ニ、イ～ロを記入した地形図をもとに、汚濁負荷量が把握できるように流域ブロックの分割を行う。

(4) 調査地点の選定

調査地点の選定は、流域ブロックの分割によって分割されたブロック毎の汚濁負荷量の収支が把握でき検証できるものでなければならない。特に最終(下流)調査地点は、データも数多くあり経年的に調査されているような地点が望ましい。また、調査地点は前後の支川の合流形態などからみて、水質を代表する地点であるかどうかを現地確認しておく必要がある。

河川の利用形態によっては、負荷量を把握する時期で大きな違いがあるので用排水路の取排水実態、バイパスの経路などについても調査したうえで調査地点の選定を行う。

なお、調査地点の選定にあたっては、次の要件に該当することを考慮する。

イ、水質汚濁に係わる環境基準点である。

ロ、公共用水域の水質が総合的に把握できる地点である。

ハ、治水、利水計画上の基準点である。

ニ、流水を利用している重要地点である。

(5) 調査項目の選定

対象とする負荷量の項目を事前に決定しておかなければならない。基本項目として、BOD、COD、SS、総窒素、総リンの5項目とするが、調査対象流域の汚濁の特性に応じて調査項目を変更あるいは追加してもよい。例えば、下流に閉鎖性水域がある場合には、富栄養化項目の窒素・リン関連、プランクトン、クロロフィルなどを追加する。また、出水時のようにSS成分が多量に流出する時は、溶解性の試験を合わせて行なうなど、河川の現状を考慮し、必要によって項目を選定する必要がある。

(6) 調査手順

河川の総合負荷量調査の全体フローの中で調査項目に合った河川汚濁負荷量の水質項目を整理し、調査方法と工程を適宜想定し調査手順を決める。

調査手順と把握項目との関連は図-2.2に示した中から調査計画の立案を行う。

2.2 調査の実施方法

河川の総合負荷量調査の実施に当たっては、以下に述べる個々の調査を十分理解すると共に、その位置づけ、相互の関係、調査の頻度及び調査全体の流れを十分に把握し、調査を計画的かつ円滑に実施することが必要である。

- イ. 調査流域の背後調査
- ロ. 発生汚濁負荷量調査
- ハ. 排出汚濁負荷量調査
- ニ. 河川の汚濁負荷量調査
- 1) 調査流域の背後調査

流域の背後調査は流域のもつ社会特性、河川基本特性及び自然地理特性などのうち、調査対象河川の水質汚濁に関係を持つ流域の特性を把握するものである。

調査は既往の資料を収集して整理することが主体となるが、背後調査の結果は各種の汚濁負荷量調査の基礎資料や汚濁負荷の流出機構など、汚濁解析の資料となるため、信頼性の高い最新の資料による調査を行なうことが必要である。

2) 発生汚濁負荷量調査

発生汚濁負荷量調査は流域内の各汚濁源における発生負荷量を調査すると共に、発生汚濁負荷量の算出基礎となる原単位を検討する。発生汚濁負荷量は流域の単位区域であるブロック流域ごとに算出する。

3) 排出汚濁負荷量調査

排出汚濁負荷量調査は各汚濁源からの排出負荷量を調査するものである。調査は、実測によることを原則とするが、不可能な場合は原単位を用いて算出する。

4) 河川の汚濁負荷量調査

河川の汚濁負荷量調査は、流域内から発生、排出される汚濁物質の河川における浄化残率、流達率など、河道内での水質変化の挙動を把握するために行うものである。

調査は流域内河川の代表地点において、流下時間を考慮した水質、流量の実測調査を行い汚濁負荷量収支を調査する。

2.2.1 調査流域の背後調査

調査流域の背後調査は、河川の水質汚濁に係わる流域内の汚濁特性を把握するとともに、河川水質と密接に関係する自然環境、社会特性、河川の特徴及び相互の関連などを明確にするため、次のような資料を収集する。

イ. 社会特性調査；流域内の汚濁発生源の基礎資料となるもので、人口、産業構造、土地利用状況などを調査する。

ロ. 河川基本特性調査；流域の特性、流量状況、河道状況、水質状況、治水、利水用施設状況などを調査する。

ハ. 自然地理特性調査；流域の地形、表層地質の性状、植生状況、気象状況など、流域の自然地理環境を調査する。

また、これらの資料収集で不十分なものは、補足調査を行なって資料を補完する。なお、河川水質の将来予測の必要性が多くの場合想定されるので、水質汚濁に係わる将来計画の資料及び当該年度までの推移が明かとなる資料も収集、整理しておくことが望ましい。

イ. の社会特性調査は流域内汚濁源の基本となるもので、流域内の人口、産業構造、土地利用状況などを調査する。

ロ. の河川の基本特性調査は流域の特性、河川特性、流量状況、水質状況、治水及び利水施設状況等を調査する。

ハ. の自然地理特性調査は流域内の地形の形態、表層地質の性状、植生の状態と自然状況、代表観測地点における過去の気象状況等、流域の自然地理環境を調査する。

1) 社会特性調査

社会特性調査に当たっては、「地形図」に調査河川の

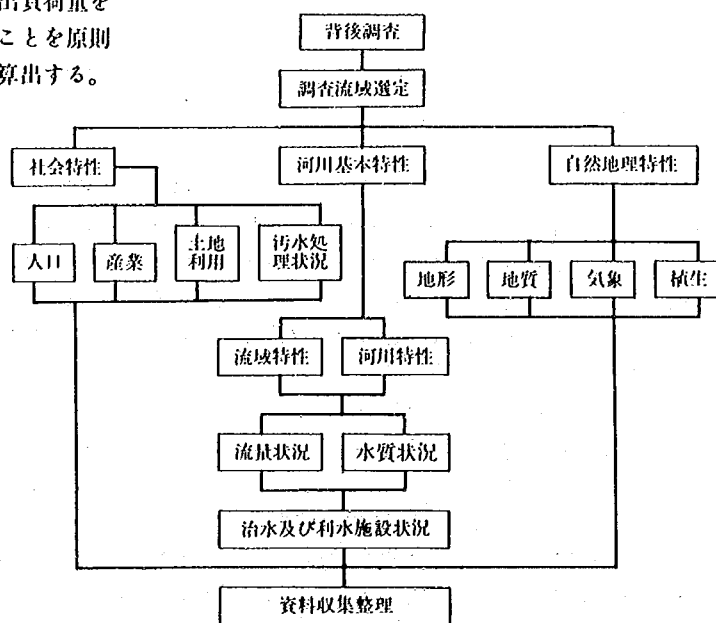


図-2.3 背後調査の流れ

流域を記入する。流域は河川の集水地域（洪水時等）であるので、一般には地形によって定まる排水路、付替水路、分水路等によって流域が変更され、他の流域から流入するか、もしくは他の流域へ流出している場合は、流域区分の変更部分を増減する。

流域を区分するとき、流域周辺が平坦地で5万分の1「地形図」で、分水界が不明瞭な場合、より大縮尺の「地形図」を参照するか、現地踏査により確認して流域界を明確にする。

流域面積は区分した区域をプランメータにより測定するが、既存の流域図、流域面積値が既知の場合は、それらの調査作成年度の出所等を確認し、信頼性のある場合はそれを利用することもできる。

流域区分後は流域に含まれる区市町村内の社会特性の要素となる地域の統計資料等を収集して、検討整理を行う。

社会特性に関わる統計資料には、行政区区域の統計資料と地域メッシュ統計資料とがある。

行政区区域の統計資料は区市町村単位又は町丁単位に整理されており、社会特性の一般的な統計資料である。

一方、地域メッシュ統計の資料は昭和50年代から整理が開始されたもので経緯度線を基準にして、一辺を約1kmの標準メッシュで区画されており、次のような資料が整理されている。

- (a) 国勢調査で得られたデータ
- (b) 事業所統計データ
- (c) 国土情報データ

いずれの資料も河川の流域界とは一致しないので、何らかの方法で河川の流域に配分することが必要である。

地域メッシュ統計の資料を流域に当てはめるのは行政区区域の統計資料より扱いは容易であるが、現在メッシュ化されているデータの種類の量が少ないので、詳細な汚濁解析の統計資料としては不十分な面がある。

このため、地域メッシュ統計の資料は調査流域が大きい場合や概略調査には適しているが、データの種類の量や資料の収集の容易さなどから一般には行政区区域の統計資料が利用されている。

(1) 人 口

調査流域内の区市町村人口は国勢調査に基づいた「国勢調査報告」、「都道府県市町村別報告」、「区市町村別人口及び世帯概数」、「地域メッシュ統計」等を用いて調査を行う。

ただし、国勢調査は5年間隔で調査を実施しているた

め、調査後に都市の開発等によって、人口統計資料が現状と著しく異なる場合は、毎月の調査資料である「住民基本台帳による世帯と人口」より確認を行い、状況によっては補正する。

流域内の区市町村人口の整理に当たって、区市町村（又は町丁）が2つの流域にまたがる場合、2つの流域に含まれるそれぞれの区市町村の面積の割合に対応して人口を配分する。

(イ) 常住人口

常住人口は国勢調査の調査時に調査地域に常住している者の人口を表わし、夜間人口ともいわれている。

常住人口には一般の家庭生活者のほかに、学校、事業所等寄宿者、病院等入院者等が含まれる。

(ロ) 移動人口

工業、商業、業務地区及び、文教地区では、通勤者及び通学者等の移動的な昼間人口を調査すると共に、観光地域では日帰り及び宿泊観光者等の一時的寄留者の状況を都道府県の観光部局で実施している「自然公園利用状況調べ」、「環境統計要覧」、「年（度）観光客数調べ」等により調査する。

(ハ) 污水处理人口

流域内の区市町村に居住する生活者について、污水处理別人口に分けて污水处理人口の状況を調査する。

調査は、「都市計画年報」、「下水道統計」、「清掃事業概要」、「公共施設状況調べ」等の資料を用いて行なう。

(ニ) 将来人口

将来人口の推定は、過去の人口増の実績を種々の推定曲線（指数曲線、2次曲線、ロジスチック曲線）にあてはめ最も適合した形式を選定して最小二乗法を用いて行なう。

この推定値は、都道府県の開発計画、人口計画、工業開発計画、その他の開発計画などとの調整を行なって決定する。多くの場合、都道府県において想定されているので、それ等を利用することも可能である。

(2) 産 業

産業は、流域内の産業構造の特性を把握するために調査を行なうが、調査結果は発生汚濁負荷量及び排出汚濁負荷量の算出資料となる。産業は、以下のよう分類、整理することができる。

第1次産業：農業、林業、狩猟業、漁業、水産養殖業等の生産業である。

第2次産業：鉱業、建設業、製造業等の加工、製造業である。

第3次産業：第1次産業及び第2次産業以外の産業で小卸売業、金融、保険業、不動

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

産業、運輸、通信業、電気、ガス、水道、熱供給業、公務等である。

(イ) 各種産業の事業所数と従業者数

調査は事業所統計調査に基づく、「事業所統計調査」、「地域メッシュ統計」、「都道府県統計年鑑」「産業統計表」等を基に、流域における全産業の実態を調査

し、表-2・2のように整理する。産業調査は流域の全産業の総合的な構造をみるため、産業大分類の区分である第1次産業、第2次産業、第3次産業に区分し、各産業の事業所数と従業者数を調査し、表-2・3のように整理する。

表-2.2 流域内人口集計表

[illegible]

注* 1) 流域に含まれる区市町村の行政面積に対する流域内面積の割合を示す。

(面積比=流域内面積/行政面積)

* 2) 昼間人口=夜間人口+流入人口(通勤, 通学)-流出人口(通勤, 通学)

表-2.3 流域内産業の事業所数及び従業者数

[illegible]

(ロ) 農作物の作付け状況

降雨時や農業用水を多量に使用する時期には、畑地、樹園地、水田等の農地から肥料成分が流出し、河川への窒素負荷量及びリン負荷量の増大が考えられる。

この為、農作物の種類と作付け状況を「農林業センサス結果報告」、「作物統計」等の資料により調査を行い表-2・4のように整理する。

表-2・4 作物別作付面積(ha)

流域別 市町村名 作物別	〇〇川流域		〇〇川流域		
	市	町	町	村	村
稲					
麦類					
芋類					
豆類					
果樹					
野菜					
その他					
計					

(ハ) 家畜の飼育状況と排水の処理状況

家畜の飼育状況と家畜の糞尿の処理方法は、地域によっては河川への汚濁源として、大きな比重を占めることがある。

このため、流域内の家畜の種類や頭数、家畜の糞尿の処理状況、排水量と排水水質等を「畜産統計」、踏査、実測等によって調べ表-2・5のように整理する。

(ニ) 工場、事業所の排水量、排水水質等

a. 個別事業所

流域内の工場、事業所のうち1000m³/日以上を排出する比較的排水規模の大きな事業所は河川の水質汚濁負荷への寄与が大きい。

このため、水質汚濁負荷量調査の精度を高めるために、他の事業所と区分し、個別事業所として、排水量、排水水質を実測し表-2・6のように整理する。

表-2・5 家畜の飼育状況と排水状況

流域 河川名	流域内 区市町村	牛									豚											
		飼育 戸数	排水 処理 施設 (戸数)	頭数 (頭)	排水量 (m³/日)	負荷量(kg/月)					飼育 戸数	排水 処理 施設 (戸数)	頭数 (頭)	排水量 (m³/日)	負荷量(kg/日)							
						BOD	COD	SS	TN	TP					BOD	COD	SS	TN	TP			
計																						

表-2・6 個別事業所の排水状況

流域内 河川名	流域内 区市町村	事業所名	業種名 * 1)	所在地	排水処理 施設 有・無	排水施設 位置 * 2)	排水量 (m ³ /日) * 3)	排水負荷量(kg/日) * 4)				
								BOD	COD	SS	TN	TP
計												

* 1) 業種名は産業中分類による名称とする。

* 2) 流入する河川の左右岸の別及び流入する河川での位置を 抗位置で表示する。

* 3) 排水量は水質汚濁防止方法に基づいた、「特定施設の届け出資料」の値とする。

* 4) 必要に応じて汚濁負荷量の指標を追加する。

(例, TOC, SS, NH₄-N, etc)

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

b. 各種の製造工場
 流域内の個別事業所以外の各種の製造工場は産業
 中分類の区分により、流域内の市町村別に工場数、
 製造品出荷額、従業員数、排水量等を調査する。
 調査は、「工業統計表－用地、用水編」、「事業所統

計調査報告」等の資料を基に調査を行ない、表-2・7
 のように整理する。

なお、下表の排水量は先に調査した従業員数と「工
 業統計表用地・用水編の利水・工業用水原単位」と
 により算出する。

表-2・7 各種の製造工場関係

流域河川 市町村	〇 〇 〇 川 流 域								
	市 町 村								
	工場数	出荷額 (百万円)	従業員数 (人)	排水量 (m ³ /日)	排 水 負 荷 量 (kg/日)				
産業中分類					BOD	COD	SS	TN	TP
12 食料品									
14 機械									
15 衣服									
16 木材									
17 家具									
18 紙製品									
19 印刷									
20 化学									
21 石油・石炭									
23 ゴム									
24 皮革									
25 窯業・土石									
26 鉄鋼									
27 非鉄									
28 金属									
29 機械									
30 電気									
31 輸送機									
32 精密									
34 その他									
37 ガス									
38 熱供給									
計									

c. その他の事業場

水質汚濁防止法に規制されている特定事業場の内、aの個別事業所、bの各種製造工場以外のその他の事業場は、流域内の区市町村別に事業場数、排水量、負荷量等を調査する。調査は、水質汚濁防止法に基づく「特定施設の届出資料」や「河川水質管理計画書」により調査を行ない表-2・8のように整理する。

(ホ) 卸、小売り業の事業所、従業員数

BOD、COD、SSなどの生活環境項目の水質濃度の高い卸、小売り業の負荷量調査の資料とするため、「商業統計表」等や踏査時の実測等によって、排水量、排水水質を調べ表-2・9のように整理する。

表-2・8 その他・事業所の調査表

流域内 市町村名	〇 〇 〇 川 流 域						
	市 町 村		排水負荷量 (kg/日)				
事業場名	事業場数	排水量(m ³ /日)	BOD	COD	SS	TN	TP
391 上水道							
392 工業用水道							
393 下水道							
731 旅館業							
751 洗濯業							
761 写真・現像							
871 病院							
952 と畜							
811 車両・洗浄							
29 給食センター							
93 試験研究							
891 一般廃棄物処理							
計							

表-2・9 卸・小売り業の負荷量調査表

流域河川 市町村名	川 流 域								
	市 町 村								
産業小分類	店数	常時 従業員数	販売額 (年間)	排水量 (m ³ /日)	負 荷 量 (kg/日)				
					BOD	COD	SS	TN	TP
鮮魚 5126									
食肉 5125									
野菜 5123									
計									

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

(へ) 飲食店、サービス業の事業所数、従業員数等
BOD、COD、SS等の水質濃度が高い、飲食店、サービス業等の汚濁負荷量調査の資料とするため、「商業統計表」等や実測等によって、排水量、排水水質を調べ表-2・10のように整理する。

(3) 土地利用

土地利用の形状は、流域から発生して流出する汚濁物の状態や量を変化させる。また、土地利用の状況変化は河川水質に大きな影響を与える。このため、土地利用状況の把握は、水質汚濁負荷量調査においても重要な調査項目の一つである。土地利用の状況調査は、「土地利用図」に流域界を区画し、流域内における各土地利用ごとの区域の面積を測定して表-2・11のように整理する。

表-2・10 飲食店、サービス業の負荷量調査表

流域河川 市町村名	川 流 域								
	市 町 村								
産業小分類	店数	常時 従業員	販売額 (年間)	排水量 ($\text{m}^3/\text{日}$)	負荷量($\text{kg}/\text{日}$)				
					BOD	COD	SS	TP	TN
日本料理 5912									
西洋料理 5913									
中華料理 5914									
そば、うどん 5921									
すし 5931									
料亭 6011									
バー、キャバレー 6021									
酒場、ビアホール 6031									
喫茶 5941									
その他 5999									
計									

表-2・11 流域内土地利用状況

流域内 河川名	流域内 市町村名	流域 面積	土 地 利 用 区 域 (km^2)							
			林 地	草 地	農 地			市 街 地		
					水 田	畑	樹園地	市街化 区 域	市 街 化 調整区域	人口集中 地 域
計										

流域内に設置されている下水終末処理場やし尿処理

調査流域の特性は、「国土地理院発行20万分の1」又は、流域が小さいときは、「5万分の1」の地形図、「河川現況調査」、「河川便覧」等により調査し表-2・13のように整理する。

表-2・12 汚水処理施設の処理状況

[illegible]

表-2.13 流域の特性調査表

[illegible]

(2) 河川の特性

河川の流域面積，流路延長，河道形態，河道内構造物の種類等，河川の特性について調査する。

とりまとめにあたっては、必要に応じ、河川単位で上流、中流、下流等の細分を行なうものとする。

調査は、「河川現況調査」、「河川便覧」等をもとに調査し表-2・14のように整理する。

(3) 流量狀況

河川の流量状況を把握し、水質状況と関連させるこ

とにより、期間別及び流量規模別貨荷量の算出の基礎資料とする。

調査は、「流量年表」、「河川便覧」、その他既存の調査資料を基に代表地点の最近10か年の平均流量(日、月、年)、流量規模別流量、河状係数(最大流量/最小流量)、正常流量を調査すると共に、必要に応じ水質基準地点間における流下時間の関係も調査して表-2・15のように整理する。

表-2.14 河川の特性調査表

[illegible]

表-2.15 流量狀況調查表

[illegible][illegible]

(4) 水質狀況

調査流域内の水質状況を把握することにより、水質汚濁負荷量の算出の基礎資料とする。

流域河川の代表地点について、最近10か年の平均水質、最大及び最小水質、流量規模別相当時の水質等を調査する。

調査は、「水質年表」、「日本河川水質年鑑」、「全国一級河川の水質現況」、「各地方水質汚濁対策連絡協議会資料」等を基に調査を行ない表-2・16のように整理する。

調査対象となる標準的な水質の指標はBOD, COD, pH, SS, TN, TP及び生物学的水質階級とするが、必

要に応じてTOC, NH₄-N, Cl, 金属類等の項目を追加する。

(5) 治水及び利水施設状況

治水及び利水施設に関する諸元を「事業計画書」及

び「河川管理台帳」等より調査し、流況に関する資料を「河川現況調査」、「河川便覧」、「ダム管理年表」、「流量年表」等より調べ、表-2・17のように整理することにより用排水系統を明確にする。

表-2・16 河川水質状況調査表

河川名	代表 水質調査 地点	㊦平均水質 (mg/l)			流量相当水質(mg/l)						最大 水質 (mg/l)	最小 水質 (mg/l)	感潮 の 有無	河口又は 合流点か らの距離	環境 基準 類型	生物学 的水質 階 級
		日	月	年	流 量 規 模											
					最大	豊水	平水	低水	渇水	最小						

㊦

平 均 水 質 (mg/l)												
日	月							年				
	1	2	3	・・・	10	11	12	最近10カ年				

表-2・17 治水及び利水施設状況の調査表

河川名	ダム・堰名称	ダム・堰所在地	用途	総貯水容量	ダム・堰高	主排水	取水地点	取水水量	季別回転率			下流維持用水		水 質 状 況 (mg/l)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
									洪水期1	"2	非洪水期	かんがい期	非かんがい期	BOD			COD			T-N			T-P			SS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
														最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																

3) 自然地理特性調査

流域の自然環境は、河川の水質を形成する主要な因子となるもので、次の事項を調査する。

(1) 地形 (3) 植生

(2) 地質 (4) 気象

(1) 地 形

地形の状態は、河川の流量と密接な関係を持つもので、(2)の地質と共に河川水質との関わりが強い。特に傾斜度がきつくなると降雨時に河川へ表層土壌が流出しやすくなり、流水中のSS、COD濃度等が高くなるなど、河川水質への影響が大きい。また、湧水や地下水への伏流にも影響する。地形の調査は、上流域から水質の調査地点や流量観測地点までの地形状況を「地形図」、「土地利用」、「空中写真」等によって調査し、整理する。

なお、地形状態の整理に当たっては、表-2・18の「地形分類基準及び定義」⁹⁾を参考とする。

(2) 地 質

表層地質状況の調査は、「地質図」、「表層地質図」、その他既往の調査資料を基に行なうが、必要に応じて水質調査地点周辺の現地踏査も行なう。

調査結果の整理に当たっては、表-2・19の「表層地質の分類基準」⁹⁾を参考にする。

(3) 植 生

流域の樹木、草植物などによる土地の被覆は、降雨時に土砂の流出を防ぐ他、雨水の流出速度にも大きく影響し、河川流量及び河川水質への影響が大きい。

調査対象域の上流部から流量観測地点や水質調査地点周辺までの植生状況と植物の繁茂状況を調査する。

調査は「土地利用図」、「空中写真」、「緑の国勢調査」等を基に調査を行ない表-2・21の「植生自然度階級」⁹⁾表を参考にして、各河川流域の植生自然度比率を表-2・20のように整理する。

表-2・18 地形分類基準及び定義

大分類	小分類	補助分類	定 義
山地	大起伏山地・火山地		縮尺5万分の1地形図(建設省国土地理院発行)を縦横各20等分した方眼内における最高点と最低点の差(起伏量)が601m以上の山地・火山地
火山地	中起伏山地・火山地		起伏量401mから600mを有する山地・火山地
	小起伏山地・火山地		起伏量201mから400mを有する山地・火山地
	山麓地・火山山麓地		起伏量200m以下を有する山地・火山地
丘陵地	大起伏丘陵地 小起伏丘陵地	火山性丘陵地	起伏量101mから200mを有する丘陵地 起伏量100m以下を有する丘陵地
台地	砂れき台地・段丘		地表の平坦な台状または階段状の地域で、厚く、かつ軟弱な砂れき層からなるもの
段丘	ローム台地・段丘	(a)上位面	火山灰(ローム)の一次的堆積によってできた台状または階段状の地域で、きわめて厚い火山灰砂れきからなるもの
	岩石台地・段丘	(b)中位面 (c)下位面	地表の平坦な台状または階段状の地域で、基盤岩が出ているかまたはきわめて薄く、かつ軟弱な被覆物質で覆われているもの
低地	沖積世段丘 谷底平野 扇状地性低地 三角州性低地 自然堤防・砂州・砂丘 その他		段丘のうち、その形成時が沖積世のもの 谷底にある平坦面で、現在河流の沖積作用が及ぶ地域 山麓部にあつて、主として砂れき主質からなる扇状の堆積地域 河川の河口にあつて、主として泥土からなる低平な堆積地形の区域 自然堤防：川の氾濫により、流路の両側に形成された微高地の堆積地域 砂州：波・河流・潮流により生じた砂れきの堆積した地形の地域 砂丘：風によって生じ、かつ砂からなる波状地形の地域

扇状地性低地には砂れき質氾濫原。三角州性低地にはシルト・粘土質氾濫原・堤間低地をふくむ。

表-2・19 表層地質の分類基準

大分類	小分類	時代	その他示した事項
未固結堆積物	れき 砂 泥(泥炭を含む) 上記各岩石の各互層 砕屑物		
固結堆積物	れき岩 砂岩 泥岩(頁岩, 粘板岩) 珉岩質岩石 上記各岩石の各互層 輝緑凝灰岩 石灰岩	古生代 中生代 古策三紀 新策三紀 洪積世 沖積世	構造的弱体部 (断層) 火口 鉱山 鉱泉, 温泉 火山灰降下分布
火山性岩石	火山灰砂 火山砕屑物 軽石 シラス ローム 某塊岩および凝石 灰れき岩 凝石灰質岩石 安山岩質岩石 玄武岩質岩石		
深成岩	斑岩 花崗岩質岩石 斑れい岩質岩石 蛇紋岩質岩石		
変成岩	ホルンフェルス 緑色片岩 黒色片岩 その他の片岩		
圧砕岩	圧砕岩質岩石		

表-2・20 流域内の植生自然度調査表

流域 河川名	流域 区市町 村名	流域内 面積	植生自然度各段階の比率(%)									
			①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
計												

表-2・21 植生自然度階級表

植生 自然度	概 要	備 考
①	市街地, 造成地	植生の殆ど存在しない区域
②	農耕地(水田, 畑地)	水田, 畑地等の耕作地, 緑の多い住宅地(緑被率60%以上)
③	農耕地(樹園地)	果樹園, 桑園, 茶畑, 苗圃等の樹園地
④	二次草原(背の低い草原)	シバ群落等の背丈の低い草原
⑤	二次草原(背の低い草原)	ササ群落, ススキ群落等の背丈の高い草原
⑥	造林地	常緑針葉樹, 落葉針葉樹, 常緑広葉樹等の植林地
⑦	二次林	クリ・ミズナラ群落, クスギ・コナラ群落等, 一般には二次林と呼ばれる代償植生地区
⑧	二次林(自然林に近いもの)	ブナ, ミズナラ再生林, シイ, カシ萌芽林等, 代償植生であっても, 特に自然植生に近い地区
⑨	自然林極相林またはそれに近い群落構成を示す天然林	エゾマツ・トドマツ群落等, 自然植生林のうち多層の植物社会を形成する地区
⑩	自然草原(自然草原・湿原)	高山ハイデ, 援衝草原, 自然草原等, 自然植生のうち単層の植物社会を形成する地域。(⑨, ⑩は自然性の高さにおいて同ランク)

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

(4) 気 象

降水量、気温などの流域の気象状況は、河川の流量・水質を支配する主要な因子である。降雨は、河川の流量を増大させたり、畑や樹園地等からの肥料成分を流出させたりする。また、市街地の路面や水路の堆積物を流出させて、河川への流入負荷量を増加させる。

この為、流域の気象特性を把握し、水質汚濁解析(自

然汚濁の発生及び流出特性など)の資料とするため水質調査地点及び流量観測地点に関する気象観測地点の気温、降水量、積雪量、晴天日数、降雪及び降水日数(月、年の平均日数)などを調査する。

調査は、「気象庁月報」、「気象庁年報」、「雨量年表」、「都道府県月報」等の資料を基に最近3か月の状況を調査し表-2・22のように整理する。

表-2・22 流域内気象状況

流域内 河川名	代表 観測 所名	降水量 (mm/日)			積雪量 (cm/日)			晴天日数 (日/月)			降水日数 (日/月)			積雪日数 (日/月)		
		最高	最低	平均	最高	最低	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
計																

表-2・23 背後調査に関する資料一覧

調査項目	資料名	編集、出版又は保管等
1. 人文特性調査 (1) 人口	地形図(1/20万, 1/5万, 1/2.5万) 国勢調査報告 都道府県市区町村別報告 市区町村町丁別人口及び世帯概数 地域メッシュ統計 住民基本台帳による世帯人口 自然公園利用状況調査 環境統計要覧 都市計画年報	建設省国土地理院 {(財)日本地図センター} 総理府、統計局 {(財)日本統計協会} 都道府県 都道府県 総理府統計局 {(財)日本統計局} 都道府県、市区町村 環境庁自然保護局 建設省関東地方建設局 (関東地域整備要覧昭和59年度) 建設省都市局都市計画課 {(財)都市計画協会} (社)日本下水道協会
(2) 産業	下水道統計 清掃事業概要公共施設状況調べ 事業所統計調査報告 事業所統計調査、地域メッシュ統計 都道府県統計年鑑 農林省センサス結果報告 作物統計 畜産統計 工業統計表用地・用水編	都道府県 総理府統計局 {(財)日本統計協会} 総理府統計局 {(財)日本統計協会} 都道府県 農林水産省統計情報部 農林水産省統計情報部 {(財)農林統計協会} 都道府県 通商産業省、大臣官房調査統計課 (大蔵省印刷局)

	特定施設の届出資料	都道府県公害部局 指定都市公害部局
	河川水質管理計画書	建設省地方建設局河川部 河川等工事事務所
(3)土地利用	土地利用図(1/20万分, 1/5万分, 1/2.5万分) 国土統計要覧 地域統計要覧 都道府県市町村別面積調べ 国土数値情報データ 河川現況調査, 各地方編	建設省国土地理院 {(財)日本地図センター} 国土庁水資源局(大成出版社) 建設省国土地理院 国土庁計画調整局 建設省各地方建設局河川部 (社)日本下水道協会
(4)汚水処理施設の処理状況	下水道統計	
2 河川基本特性調査	地形図(1/20万, 1/5万)	建設省国土地理院
(1)流域の特性	河川現況調査 河川便覧	各工事事務所 (社)日本河川協会
(2)河川の特性	河川現況調査 河川便覧	各工事事務所 (社)日本河川協会
(3)流量状況	流量年表 河川便覧	建設省河川局, (社)日本河川協会 (社)日本河川協会
(4)水質状況	水質年表 日本河川水質年鑑 全国一級河川の水質状況	建設省河川局 建設省河川局, (社)日本河川協会 建設省河川局河川計画課 各地方建設局河川部 各地方建設局河川部, 関係都道府県 各工事事務所 各工事事務所 各工事事務所 (社)日本河川協会 建設省河川局 建設省河川局(社)日本河川協会
(5)治水及び利水施設状況	各地方水質汚濁対策連絡協議会資料 事業計画書 河川管理台帳 河川現況調査 河川便覧 ダム管理年表 流量年表	
3 自然地理特性調査		
(1)地形	地形図 空中写真 地形分類基準 (日本の自然と土地利用)	建設省国土地理院 {(財)日本地理センター} 国土庁土地局, 計画・調査局 (社)全国国土調査協会
(2)地質	地形図 表層地質図 表層地質の分類基準 (日本の自然と土地利用)	通商産業省, 工業技術院 通商産業省, 工業技術院 国土庁土地局, 計画・調整局 (社)全国国土調査協会
(3)植生	緑の国勢調査	環境庁, (大蔵省印刷局)
(4)気象	気象庁月報 気象庁年報 雨量年表 都道府県月報	気象庁 {(財)日本気象協会} 気象庁 {(財)日本気象協会} 建設省河川局 {(社)日本河川協会} 都道府県

2.2.2 発生汚濁負荷量調査

各発生源における発生負荷量の調査は、汚水処理施設に流入前の負荷量を対象とし、実測によって求めることを原則とする。また、発生負荷量は、発生要因別に分類し、次のような項目毎にその負荷量を算出する。

- イ) 生活排水からの汚濁負荷
- ロ) 工場、事業場排水からの汚濁負荷
- ハ) 畜産排水からの汚濁負荷
- ニ) 農地からの汚濁負荷
- ホ) 観光排水からの汚濁負荷
- ヘ) 市街地からの汚濁負荷
- ト) 山林からの汚濁負荷

企業秘密等の理由で敷地内調査を認めない工場、事業所に対しては、調査の目的と主旨を十分説明し、河川法第77条及び78条に従って対処することが望ましい。

1) 生活排水からの汚濁負荷

人間の営みによって発生する負荷量のうち、生活系としては、便所でのし尿、台所、風呂場、洗濯での雑排水を取り扱う。このような排水は各家庭だけでなく、学校、公共施設、工場、事業所からも発生している。しかし、本マニュアル(案)では、家庭から発生する負荷量のみを対象とし、その他の施設から発生する負

荷量は日本標準産業分類に従い、工場、事業所からの排水の項で扱うこととする。各家庭から発生する負荷量は直接下水道施設に排出されるか、浄化槽を用いた敷地内処理をして排出されている。また、単独処理浄化槽のように、し尿のみを処理している場合、雑排水が未処理のまま排出される。この為、事前に汚水処理方式を調べておき、採水や流量測定可能な場所を決めなければならない。また、家庭からの排水は時間的変動の大きいことが特徴であるため、調査に必要な時間帯、調査間隔等に気を付ける。

(1) 発生汚濁負荷量の算出

生活排水による発生汚濁負荷量は1人当たりの負荷量を原単位として次式で算出される。

$$\begin{aligned} & \text{発生汚濁負荷量 (kg/日)} \\ &= \text{発生汚濁負荷量原単位 (g/人・日)} \times \\ & \quad \text{人口 (人)} \times 1/1000 \end{aligned}$$

既往調査結果の原単位を用いる場合にはその値を上式に代入することにより発生汚濁負荷量が算出できる。

(2) 発生負荷量を実測する方法

① 調査地点の選定

流域内の全てについて実測することは困難なため、代表的な住宅地を選定し、原単位を求め、その原単位

〔資料〕

河川法

(河川監理員)

第七十七条 河川管理者は、その職員のうちから河川監理員を命じ、第二十条、第二十三条から第二十七条まで、第三十条、第三十一条第二項、第五十五条第一項若しくは第五十七条第一項の規定若しくは第二十八条若しくは第二十九条の規定に基づく政令若しくは都道府県の規則の規定又はこれらの規定に基づく処分違反している者(第七十五条の規定による処分又は第九十条第一項の規定による条件に違反している者を含む。)に対して、その違反を是正するために必要な措置をとるべき旨を指示する権限を行なわせることができる。

2 河川監理員は、前項の規定による権限を行使する場合においては、その身分を示す証明書を携帯し、関係人に提示しなければならない。

3 前項の規定による証明書の様式その他必要な事項は、建設省令で定める。

(許可を受けた者等からの報告の徴収及び立入検査)

第七十八条 建設大臣又は河川管理者は、この法律を施行するため必要がある場合においては、この法律若しくはこの法律に基づく政令若しくは都道府県の規則の規定により許可若しくは承認を受けた者から河川管理上必要な報告を徴し、又はこの法律による権限を行うため必要な限度において、その職員に当該許可若しくは承認に係る工事その他の行為に係る場所若しくは当該許可若しくは承認を受けた者の事務所若しくは事業場に立ち入り、工事その他の行為の状況又は工作物、帳簿、書類その他必要な物件を検査させることができる。

2 前項の規定により立入検査をする職員は、その身分を示す証明書を携帯し、関係人に提示しなければならない。

3 第一項の規定による立入検査の権限は、犯罪捜査のため認められたものと解してはならない。

を用いて流域内全体の負荷量を算出する。調査地点の選出は下記の事項に留意して行なう。

- ・排水系統が明らかで各戸の排水が1か所に集中していること
- ・一般家庭以外の排水が混入していないこと
- ・現地での実測作業が容易であること
- ・アンケートの協力が得られやすいこと

調査区域の世帯数は、少な過ぎると各家庭毎の家族構成、生活形態の違いによるバラツキの影響が大きくなる恐れがあるので、少なくとも100戸以上の規模で行なうのが望ましい。

家屋が分散しており、排水が集中していない地域を対象とする場合には、戸別に排水調査を実施しなければならない。この場合でも全戸の調査が困難な場合には、地域の平均的な家族構成、生活形態の家庭を抽出して実施する。

② 調査項目

- イ. 水 質
- ロ. 流 量
- ハ. その他 (天候, 気温, 水温, 外観)

③ 調査日及び時間

各家庭から排出される汚水量は生活パターンにより、朝夕2回の大きなピークを示すことが普通である。(図-2・4)。このため、就寝時間(0:00~6:00)を除く時間帯での全量について調査することが望ましい。また、排水量は入浴、洗濯の有無、トイレの使用頻度、住宅者数等により変化するので、天候をはじめ曜日の違い、旅行、帰省のお盆等季節の違いなども考慮して調査時期を決めるべきである。

なお、曜日の違いを考慮し4日間(金~月)、困難な場合でも2日間(日月)が望ましい。季節については、年間平均が得られるように、春夏秋冬の4シーズン、少なくとも夏冬の2シーズンは実施するのが望ましい。

④ 流量観測及び採水

流量観測及び採水の方法は調査地点の状況に応じて

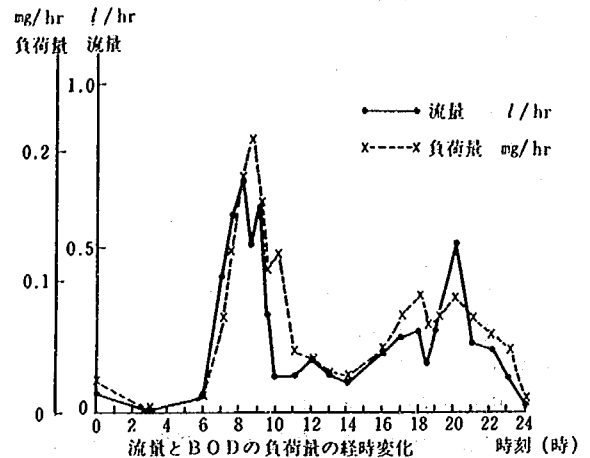


図-2・4 閉地からの流量及び発生負荷量の時系列変化¹⁰⁾

決定する。下水道などのように地上での採取が不可能な場合には、揚水ポンプと貯留タンクを組み合わせた観測装置(図-2・5、2・6参照)を用いる。排水口が地上にある場合には排水を直接計量容器(容量が明らかなポリバケツ等)で採集することができる。この場合には一定容量に貯留する時間をストップウォッチ等で測定し、流量を算出するとともに、容器中の固形物が均一になるよう十分攪拌し、ひしゃく等で試料を採集する。分析試料数が多くなる時は、流量比例にもとずいた混合試料を作成する。なお、調査対象家庭の調査期間の水道使用量をメーターの読み取りで計測しておく事も重要である。

⑤ アンケート調査

アンケート調査は、観測結果を解析し、原単位を算出するために必要なもので調査対象区域の全世帯について水使用に関わる生活実態のアンケート調査を行なう。

アンケート項目としては家族数、住宅者数、各食ごとの食事人員、川便回数(大小別)、洗濯回数、入浴人員、洗剤の種類(合成洗剤、石鹼)等について調査す

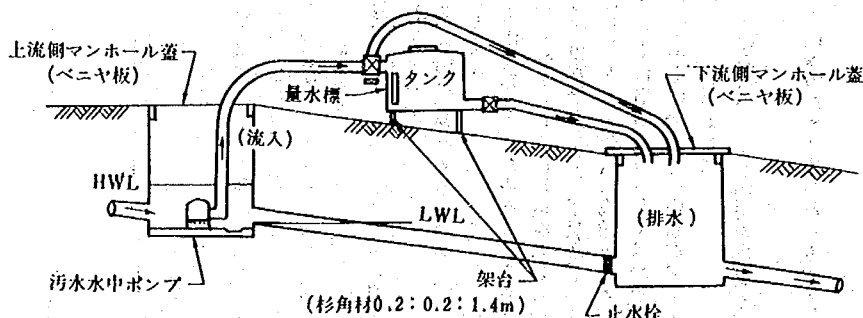


図-2・5 家庭污水観測装置例(その1)¹⁰⁾

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

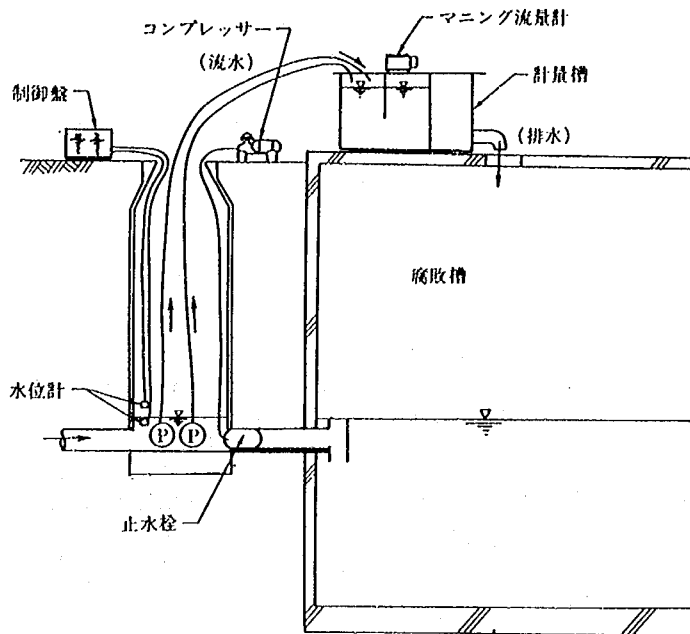


図-2.6 家庭污水観測装置例(その2)¹¹⁾

る。問い合わせに対応するため、アンケート用紙の配布は調査実施日の数日前に行ないアンケートには連絡先、電話番号、担当者名を入れておく。また、特にこの種の調査では、調査の目的、趣旨を十分に住民に伝えることが必要であるので、自治会等で説明を行なうか、地区の自治会長等の協力を得て話をしてもらい、調査の趣旨等を書いた協力依頼書をアンケート用紙と一緒に配布し、回収日についても約束しておくといふ。表-2.24にアンケート用紙例を示す。

⑥ 汚濁負荷量原単位の算出

④で得られた日平均濃度と日流量の積が実測日負荷量となる。汚濁負荷量原単位は、日負荷量を居住人口で除して、1人1日当たりのグラム数(g/人・日)で算出する。

原単位調査では、実測日負荷量の他に外出者により調査区域外に持ち出される負荷量を考慮する必要がある。持ち出し負荷量の補正は、アンケートより求めた外出者数より調査区域外への持ち出し分を算出し、次式により原単位を算出する

$$\text{原単位 (g/人・日)} = \text{日負荷量 (g/日)} / \text{居住人口 (人)}$$

$$\text{日負荷量 (g/日)} = \text{実測日負荷量 (g/日)} + \text{持ち出し負荷量 (g/日)}$$

$$\text{実測日負荷量 (g/日)} = \text{日平均濃度 (mg/l)} \times \text{日流量 (l/日)} \times 1/1000$$

実測調査が行えない場合には既存資料により原単位を決定しなければならない。どの値を用いるかは地域特性、調査内容等を検討したうえで決定する。既往原単位調査結果を表-2.25に示す。

2) 工場排水からの汚濁負荷

工場における発生汚濁負荷量は、排水処理施設において処理される前の汚濁負荷量であり、流域内の全ての工場における発生負荷量を算出するものとする。

調査の基本は、全工場に対する実測とするが、不可能な場合は代表工場の実測値を用いた原単位法、又は、既存資料による原単位法を用いる。発生汚濁負荷量の算出には、これまで原単位法がよく用いられ、業種発生原単位が、数多く調査されて文献等に記載されている。しかし個々の工場に関しては、生産方法の多様性、生産規模等により、同じ業種でも異なっていると考えられるため、全工場の発生負荷量は実測より求めることが最も正確な方法といえる。しかし、費用、日数面や工場への立ち入り等の問題で全工場における調査が不可能な場合は、業種毎に代表的な工場を選び、その調査結果から原単位を算出し、他工場に摘要する方法を取る。

立ち入り調査は、他官庁、地方自治体等と極力連帯をはかって行なうことやデータの提供を要請し、収集することも有効な手段といえる。また、独自で行なう場合には、調査の目的及び他の目的には使用しないこと等をわかりやすく説明し、協力を得ることが必要で

表-2・24 家庭排水実態調査アンケート(例)

(1) 御宅の家族構成は人員は何人ですか？

イ、2才未満の方 名

ロ、2才～小学生の方 名

ハ、中学生～高校生の方 名

ニ、勤労者の方 名

ホ、上記以外(専業主婦) 名

合 計 名

(2) 御宅では下記の期日の時間帯に、何人の方がご在宅でしたか？空欄に人数をご記入下さい。

又、ご家族以外で下記の時間帯に来客があればその方の人数も加えて下さい。

調査日	月日(日)			月日(月)		
	朝食	昼食	夕食	朝食	昼食	夕食
家族構成						
2才未満の方						
2才～小学生の方						
中学生～高校生の方						
勤労者の方						
上記以外						

*時間帯における在宅者数の確認に必要なものです。

(3) 御宅での便所の使用回数をご記入下さい。

調査日		月日(日)	月日(月)
区分	自宅		
	小便		
	大便		
外出先	小便		
	大便		

* (用便回数調査の目的)
家庭排水の内、雑用水とし尿の占める割合を推定する基準資料とするものです。

(4) 御宅では下記の期日に洗濯をされましたか？
又、風呂を使用されましたか？洗濯又は、風呂を使用されておれば空欄に○印を記入して下さい。

調査日	月日(日)	月日(月)
項目		
洗濯をした		
風呂を使用した		

(5) 御宅では使用されている洗剤は無リンでしょうか？
いずれかに○印をつけて下さい。

イ、洗濯洗剤は、無リンですか
< はい、いいえ >

ロ、洗濯洗剤は、粉石ケン(1)か、合成洗剤(2)か
< 1, 2, >

ハ、台所洗剤は、無リンですか
< はい、いいえ >

(6) このアンケートは、記入しやすかったですか？
次のどちらかに○印をつけて下さい。

記入しやすかった	
記入しにくかった	

又、ご意見がありましたら下の余白にご記入ください。

(ご意見欄)

ご協力ありがとうございました。

建設省○○地方建設局○○部○○課 (TEL)00-0000
建設省○○地方建設局○○技術事務所
(TEL)00-0000
(担当) ○○○○

表-2・25 家庭污水原単位調査結果表

	流量	BOD	COD	SS	T-N	T-P
S, 58年版流総指針(S, 50測定値)	250-350	50	27	38	12	1.8
資料1 ¹²⁾	S, 51-60年平均	45.1	23.4	32.2	11.3	1.3
	S, 56-60年平均	47.5	24.5	35.5	11.3	1.1
資料2 ¹³⁾ (S, 57-58年度測定値)	204	33.9	15.0	15.1	7.4	0.83
資料3 ¹⁴⁾ (S, 59年度測定値)	242	43.8	23.6	31.3	8.3	1.37
資料4 ¹⁵⁾ (S, 60-62年度測定値)	219	37.9	29.9	35.2	11.9	1.05

(単位：流量はl/人・日、その他はg/人・日)

ある。さらに、日間の流量変動が少ない場合や、流量が常に把握されている場合には、コンポジットサンプルを用いる方法をとることもできる。

さらに、そのような調査が行えない場合には既存資料の原単位を用いて算出する方法をとる。

(1) 発生汚濁負荷量の算出

発生汚濁負荷量は次の方法で算出する。

① 発生負荷量の測定

実測法では対象工場別に次の手順で算出する。

a. 1日の負荷量

$$1 \text{ 日の負荷量 (kg/日)} = \text{調査 1 日間の負荷量の合計 (kg/日)}$$

b. 日平均負荷量

$$\text{日平均負荷量 (kg/日)} = \frac{1}{n} \times \sum 1 \text{ 日の負荷量 (kg/日)} \times \text{稼働日数 (日)} / 365 \text{ 日}$$

但し n : 調査回数 (日)

以上の手順で求められた各工場の日平均負荷量を合計して、発生汚濁負荷量 (kg/日) とする。

② 原単位法による算出

a. 代表工場の実測値により原単位を求める場合

b. 既存資料等の原単位を用いる場合

上記いずれも次の原単位法で算出する。

$$\begin{aligned} \text{発生汚濁負荷量 (kg/日)} &= \sum \text{発生汚濁原単位 (g/日} \cdot \text{百万円)} \\ &\quad \times \text{製造品出荷額 (日百万円)} \times \frac{1}{1000} \end{aligned}$$

但し Σ : 業種別の合計

なお、既存資料の原単位を用いる場合は、その原単位調査年と負荷量算出対象年が異なる場合、製造品出荷額はこの間の物価指数による補正を行なったものを用いる。

以下実測法ならびに原単位実測法について、調査の実施方法を述べる。

(2) 全工場の実測による発生負荷量の算出

① 事前調査

現地調査を実施する前に以下の項目について事前調査を行なう。

a. 工場の位置

b. 種類

工場の種類によっては、季節による変動も大きいと考えられるので、その種類を把握し、実測調査の参考とする。

c. 処理施設流入口の位置、形状

処理施設は1ヶ所とは限らないので注意を要する。また、流入量を測定するための予備知識として、事前にどのような形状で流入しているか、流量観測が可能かどうか調べておく必要がある。

d. 操業時間

平均的な操業を行っている時間帯を把握しておく必要がある。

e. 製造工程

調査計画を立てる上で、処理施設流入水質及び流入量の時間変動の概要を把握するため、製造工程を把握しておく必要がある。特に小規模の食料品製造業は製造工程により時間の変動が激しい場合がある。

② 調査方法

各工場の1日分の発生負荷量を実測することが目的であり、処理施設流入前の段階において実測する。工場により排水の流量、水質について時間的、季節的変動が大きいとみられるものがあることから、測定時間や1日以内での測定回数、間隔の測定については特に注意が必要である。

a. 調査地点

全工場の処理施設流入地点及び処理を行なわない排水の排水口とする。

b. 調査回数

原則として以下に示す回数とするが、変動の状況により正しい負荷量が把握できるよう、適宜変更することが望ましい。

イ. 季節変動が小さい工場：季別に1回(4回/年)

ロ. 季別変動が大きい工場：月に1回(12回/年)以上の回数とし、1日の測定回数は、

ハ. 日間変動が少ない工場：1日に1回任意の時刻

ニ. 昼間と夜間で変動がある工場：昼間1回、夜間1回

ただし、昼間と夜間の区切りとなる時刻を把握する必要がある。

ホ. 日間変動があり、24時間操業している工場：一定時間間隔で24時間調査を行なう。調査間隔は変動の大きさにより、適宜に決める。

ヘ. 日間変動があり、操業時間帯が決まっている工場：操業時間帯に一定時間間隔で調査を行なう。時間間隔は変動の大きさにより、2 hr, 3 hr, 4 hrを適宜採用する。

以上、イ、ロ及びハ～ヘを組み合わせる調査回数とする。

c. 調査項目

イ. 処理施設のあるところでは、処理施設の流入量、また、処理施設のないところでは、その排水量。

ロ. 水質

調査計画で定めた水質項目を対象とする。
以上をまとめてブロック毎に集計表を作成しておく
と便利である。

流域No		事前調査					測定計画			
No	工場名	位置	業種	処理施設及び 未処理排水の 排水口の数	操業 時間	製造 工程	年間 測定 回数	1日の 測定 回数	沈澱 の 可否	沈澱 方法
1										
2										

d. データの整理

得られた水質、流量についてのデータを用いて調査日毎に各工場別に調査日1日間の負荷量を算出する

e. 準備品

一般に使用するものを以下に挙げるが、現地の状況に応じて必要と思われるものを追加する。

容量の判明している容器、ストップウォッチ、採水器具（バケツ、ロープ、ヒシヤク等）、ポリビン、ロート、温度計、アイスボックス、氷、筆記具、野帳、その他

(3) 実測により原単位を求める方法

調査対象流域全体に工場が数多くある場合には、測定箇所が多くなり、非常に困難である。また、過去に報告されている原単位は出荷額がベースとなっており、物価上昇に伴って出荷額も変化するとともに、技術の進歩、経費の節減による用水量の減少等で変化（減少傾向）しているものと推定される。

従って、ここでは産業分類別に主要工場を抽出し、負荷量を実測することにより、原単位を求めて、その原単位を用いて流域全体の負荷量の把握を行なう。

なお、産業分類は2.2.1調査流域の背後調査で整理さ

れた、産業分類に準拠する。

① 事前調査

a. 実測対象工場の抽出

2.2.1調査流域の背後調査で整理された業種別工場数、出荷額等を基に、実測対象工場を抽出する。抽出にあたっては、流域内の業種別工場数の多少、出荷額の多少など流域の特徴を配慮して配分する。また、できるだけ一つの業種について規模別に複数個抽出するのが望ましいが、流域の特徴により、例えば小規模のものが多く、負荷量的にみてもこのウェイトが大きいとみられる場合については、小規模のもののウェイトを大きくするなど、抽出方式は流域の状況に応じたものとする。

b. 実測対象工場の状況

(2) 全工場に対する実測法の i) 事前調査 a.、e. と同じ

c. 事前調査のまとめ

抽出した工場について、下表に示す表中の事前調査欄に出荷額等の情報を記入しておく。

産業分類		事前調査					測定計画			
No	工場名	位置	製造品 出荷額 百万円/年	処理施設及び 未処理排水の 排水口の数	操業 時間	製造 工程	年間 測定 回数	1日の 測定 回数	流観 の 可否	流観 方法
1										
2										

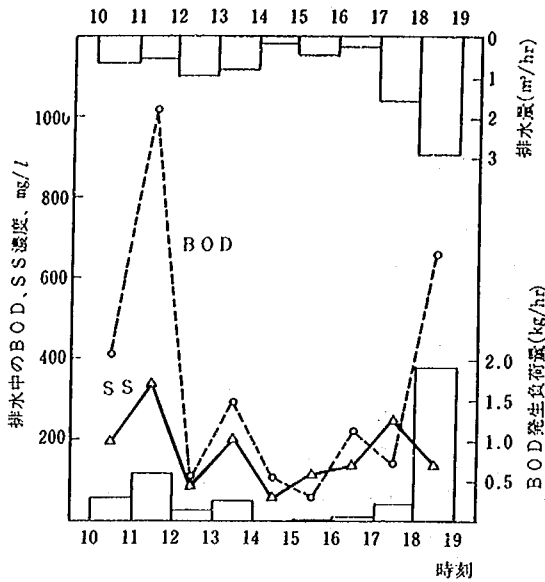


図-2.7 Sスーパーマーケットの肉類販売店からの排水量と負荷量¹⁶⁾

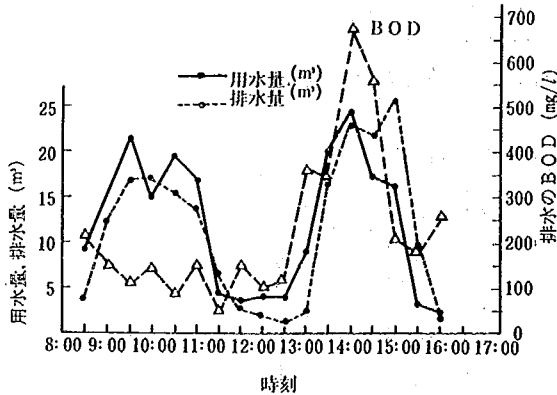


図-2.8 Y学校給食センターの用水・排水量調査結果¹⁷⁾

その他、排水量あるいは負荷量の大きな業種としては、病院、産業廃棄物処理施設、洗米業（清酒、米菓、味噌製造業に関連）、洗瓶、洗缶、冷凍食品製造業などについても、業務内容を事前に調査して合理的な調査を行うようにする。また、試験、研究施設についても調査を行う。

4) 畜産排水からの汚濁負荷

畜産排水としての汚濁負荷はし尿によるものがそのほとんどを占めるが、飼育形態によっては肥料もその一部を占めると考えられる。

我が国で飼育されている家畜、家禽としては牛（肉牛、乳牛）、馬、豚、鶏がほとんどであり、特殊なケースとして動物園があるが、ここでは上記4種類についての負荷量原単位について扱うものとする。

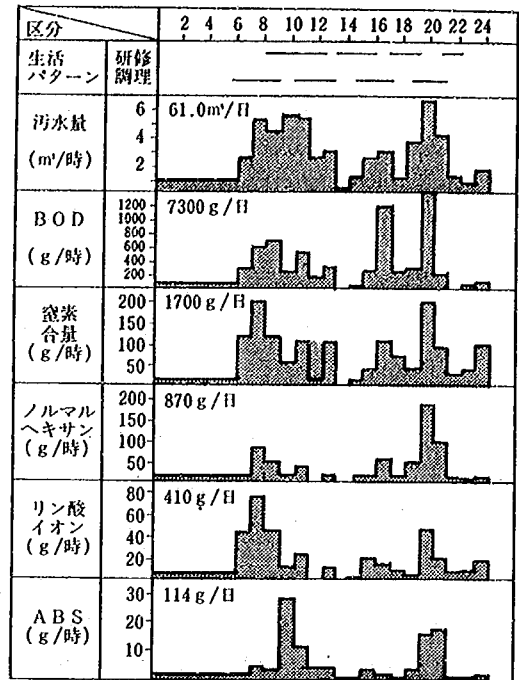


図-2.9 温泉ホテル排水の汚濁負荷量¹⁸⁾

(1) 発生・排出の構造

家畜排水による汚濁発生・排出機構を模式的にみると図-2.10、2.11が考えられる。牛・馬の負荷発生箇所は、畜舎内と畜舎外とに分けられ、畜舎内の発生負荷の一部は処理され、一部は系外もしくは近隣農地へ移動している。畜舎外あるいは放牧での発生量は自然系の負荷量としてカウントされる。このため、豚の場合も含め、畜舎に設置された溜枥（処理施設）からの負荷量が、水系からみた時の家畜負荷量の排出量として位置づけられる。鶏については、ほぼ全量が農地還元されているので、排出負荷量としての考慮は必要ない。しかし、大規模養鶏団地のように、施設の洗浄による発生・排出負荷量が無視できないような場合には調査の対象とする。

(2) 事前調査

対象流域内に存在する畜産施設について、その畜種別頭羽数、日令別頭数（又は、体重別）の月別変化、飼料の種類（配合、残飯、厨芥）、飼育形態、汚水、糞の処理処分形態と処理能力等を、背後調査と共に調査する。

(3) 調査方法

畜種別に調査対象施設を選定するが、季節変動、家畜の固体差、飼料の種類、飼育形態により、し尿の排出量は大きく異なるので、平均的な施設を選ぶように

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

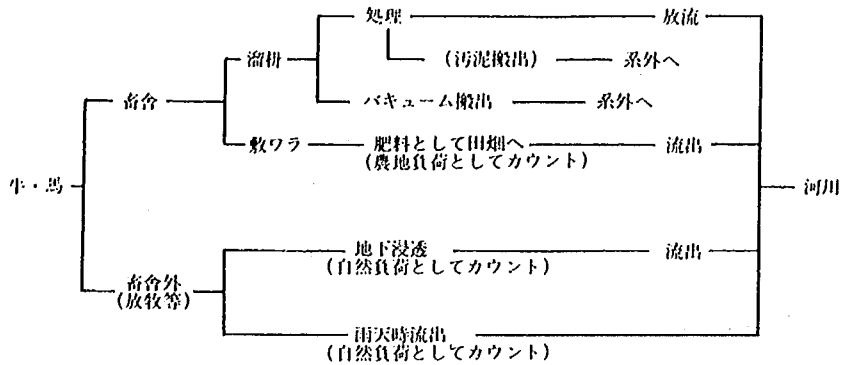


図-2・10 家畜排水による汚濁負荷の発生と排出機構

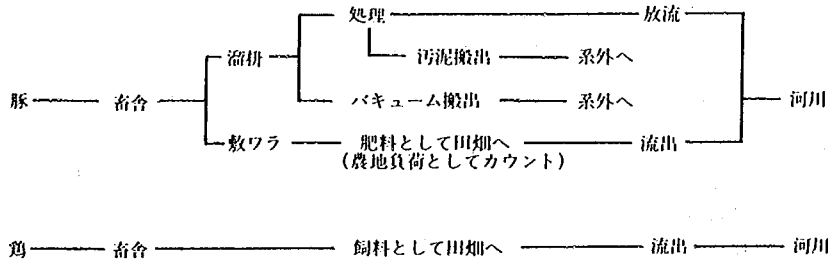


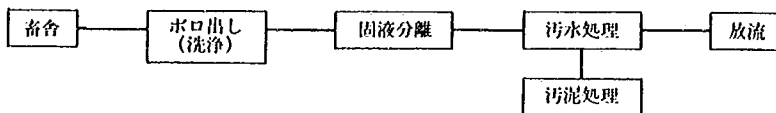
図-2・11 畜舎からの汚濁負荷発生機構

する。特に、各種文献による報告値を比較すると、発生量(g/頭/日)に大きな差のあるものが見受けられるが、これは飼育条件や調査方法の違いによるものであると考えられる。このため、本マニュアルでは、畜舎内の直接の発生量、ボロ出し後の発生量及び処理施設からの排出負荷量を明らかにするための調査方法とする。

① 調査の内容

一般に畜舎では機械的作業によるボロ出しにより約70~80%の糞を系外に除去し、洗浄による排水を固液

分離することにより、発生負荷量の80%は除去される。このため、畜舎内の総発生負荷量を調査するためには、調査対象畜舎の一画にビニールシートなどの不透水性シートを敷き、複数頭の家畜についての一日分の排泄量を収集する。ビニールシートに付着した排泄物、飼料等についても水で洗浄し、完全に回収する。なお、洗浄に用いた水については、その量と水質を測定しておき調査結果を修正する。発生負荷量調査とは別に、調査対象の畜舎からのボロ出し量と、固液分離による分離固形物量および汚水の水量と水質を調べる。



② 調査時期

飼育と出荷の運転サイクルにより、飼料の投与量が時期により変化するので、飼育状況に応じた調査が必要となる。

③ 調査項目

- イ. 調査対象とした家畜の数
- ロ. 発生量, ボロ出し量, 固液分離による量
- ハ. 固液分離のろ液量, 調査に用いた洗浄水量
- ニ. し尿の化学分析項目 (BOD, COD, SS, TN,

TPなど)

④ 使用機材

ビニールシート, 固形物用計量器(ヘルスメーター), 計量ポリタン, 採水用ポリビン, データーシート, 筆記用具, 時計等。

(4) 原単位の算出法

①の調査で得られた一日当りのし尿及び洗浄水の混合試料を分析し、次式より負荷量原単位を算出する。

発生負荷量原単位 (g/頭・日) = (混合試料濃度

－洗浄水濃度)×排出水量÷調査頭数
また、ボロ出し (ボロ出し率a)、固液分離 (除去率b) を行ったあとの廃液量を発生負荷量とした場合の原単位は、

$$\text{発生負荷量原単位} = (\text{混合試料濃度} - \text{洗浄水濃度}) \times \text{排出水量} \times (1 - a) \times (1 - b) \div \text{調査頭数}$$

となる。

発生負荷量原単位は、上記発生負荷が処理施設で浄化された後の処理水を対象に評価されるので、その値は処理水質×水量÷頭数 (g/頭/日) となる。

また、発生汚濁負荷量は発生負荷原単位に頭数を乗じて求めることができる。

発生汚濁負荷量 (kg/日)

$$= \text{発生汚濁原単位 (g/頭/日)} \times \text{家畜頭数 (頭)} \times 1/1000$$

ボロ出し及び固液分離後の排出負荷量は、次式により算出する。

排出汚濁負荷量 (kg/日)

$$= (\text{発生汚濁原単位 (g/頭/日)} \times (1 - \text{ボロ出し率}) \times (1 - \text{固液分離による除去率})) \times \text{頭数} \times 1/1000$$

(5) 原単位の実測例

① 家畜排泄物の全国平均原単位

表-2・27 家畜排泄物の原単位列例¹⁹⁾

畜種別	頭羽数	糞量(kg/頭羽/日)	尿量(kg/頭羽/日)	糞尿量(kg/頭羽/日)
乳 牛 用	2104×10 ³	27	5.8	32.8
肉 牛 用	2281×10 ³	14.4	3.3	17.7
豚	10065×10 ³	1.88	2.2	4.08
産 卵 鶏	121820×10 ³	0.137	—	0.137
ブロイラー	131252×10 ³	0.075	—	0.075

(56年度データ)

② 成畜による日平均排泄量

表-2・28 成畜の日平均排泄量²⁰⁾

畜種別	糞 量	尿 量
乳 牛	40kg (水分80.1%)	20kg (水分99.3%)
成 肉 用 牛	27.5kg (水分80.1%)	13.5kg (水分99.3%)
成 豚	2.7kg (水分69.4%)	5.0kg (水分98.0%)
産 卵 鶏	72 g (水分63.7%)	
ブロイラー	22.4 g (水分25%)	
	但し、63日間飼育、年4回転	

③ 体重別養豚糞尿の汚濁負荷量

表-2・29 体重別養豚糞尿の原単位例²¹⁾

体 重 (kg)	排水量 (l/頭/日)	負荷量原単位(g/頭/日)				
		BOD	COD	SS	TN	TP
20	1.5	50	25	120		
30	3.3					
40	3.0	90	45	240		
60	4.5	140	70	360		
60	5.8					
80	5.5	170	85	440		
100	6.5	200	100	520		
100	7.7					
230	8.8					
250	8.0					
大	121	289	72	224	34	8.0
大	117	214	62	82	88	16.0
大	125	250	77.5	400	30.3	9.4
大	220	223	58	247	58.0	13.0

④ 体重別家畜糞尿の汚濁負荷量

表-2・30 体重別家畜糞尿の原単位例¹⁹⁾

体重 (kg)	排水量 (l/頭/日)	負荷量原単位(g/頭/日)		
		BOD	COD	SS
肉牛200	12	300	170	1200
肉牛400	24	600	340	2400
肉牛600	36	900	500	3600
肉牛500~600	30	600	500	2900
子牛150	8.5			
育成牛250	22.5			
成牛500	41.0			
乳牛550	60.0			
乳牛200	17	340	200	1700
乳牛400	34	680	400	3400
乳牛600	50	1000	600	5000
馬500~600	35	220	715	5600

⑤ 家畜糞尿の汚濁原単位(単位:g/頭/日)

表-2・31 家畜糞尿の原単位例²²⁾

	牛			豚			馬	鶏
	環境庁	建設省	琵琶湖	環境庁	建設省	琵琶湖	琵琶湖	琵琶湖
BOD	640	630		200	165			
N	290	378	277	40	31.3	37	167	228
P	50	56	49	25	20.5	24	41	0.57

⑥ 家畜による汚濁負荷原単位

表-2・32 家畜の原単位²³⁾

	牛	豚
水量 (l/頭/日)	45~135	13.5
BOD (g/頭/日)	640	200
SS (")	3,000	700
T-N (")	378	40
T-P (")	56	25
COD (")	530	130

5) 観光排水からの汚濁負荷

観光レクリエーションは、定住圏からの一時的空間的移動を伴うものであり、観光レクリエーションの旅行先においては、観光客の一時的集中がみられる。

観光レクリエーションには、景勝地の自然観賞、名所・旧跡、遺跡、文化財の観賞、避暑のための保養、秋の紅葉狩り、スポーツレクリエーションを目的とした海水浴、スキー、スケート、登山、教育学習等を目的とした遊園地、動・植物園、水族館の見学などがある。観光レクリエーション量は、その目的とするところから季節的変動が大きく、利用者の休暇の点から祝祭日、曜日による変化も大きい。

宿泊観光レクリエーションの旅行先での行動の意向を表-2・33、月別宿泊観光レクリエーション回数を図-2・12に示した。

また景気、物価の状況も反映する。高速道路にある

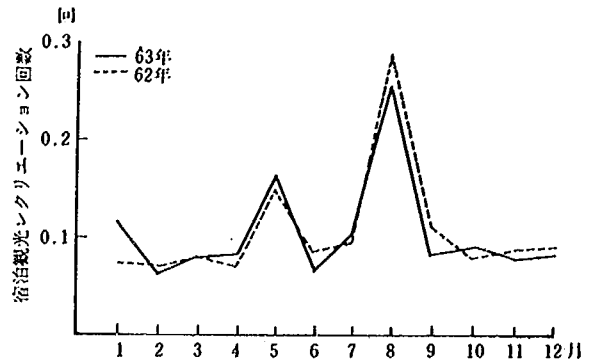


図-2・12 月別宿泊観光レクリエーション回数 (1人当り平均)²⁴⁾

サービスエリアでの使用排水量は、5月、8月、1月にそれぞれピークを示し、通常時の3~4倍に達する(土研資料第1588号)。

観光レクリエーションの旅行先における主要な汚濁発生源は、旅館、ホテル等からの生活排水をはじめ、休憩地、土産物屋、ドライブイン等の便所である。

また、温泉のある保養地では、その水質と使用水量もあわせて調査する。

(1) 発生負荷量の測定方法

① 事前調査

観光レクリエーション施設での利用者数は、季節的変動が大きいことと、泊まり客と日帰り客により発生負荷量が異なることから、以下の資料を取り揃えとよい。

表-2・33 宿泊観光レクリエーションの旅行先での行動の意向²⁴⁾

	全 体	男 性	女 性
	%	%	%
温泉に入る	52.3	①49.6	①54.4
美しい自然景観をみる	50.4	②46.0	②53.8
のんびりとくつろぐ	45.8	③42.3	③48.6
珍しい料理を食べたり、ショッピングをする	44.9	④36.0	③51.9
史跡・文化財(博物館、美術館など)などを鑑賞する	32.0	⑤33.9	⑤30.5
家族と一緒に遊ぶ	27.2	⑥25.4	⑥28.7
大勢でにぎやかに過ごす	17.2	⑧17.6	⑦16.8
スポーツ、レクリエーション活動をする	13.6	⑦19.3	⑨9.1
旅行先の土地の郷土色豊かな行動(工芸品造りなど)に参加する	10.3	⑩9.9	⑧10.6
旅行先で見知らぬ人との出会いや交流	9.0	⑨11.1	⑩7.3
祭りなどの催しを見る	8.2	⑩9.2	⑩7.4
その他	0.3	0.4	0.2

(注) 1 総理府広報室「余暇と旅行に関する世論調査」(63年11月)による。

2 複数回答である。

3 ○内は順位を示す。

- a. 旅館、ホテルの数と収容人員及び職員数（従業員、季節労働者）
- b. 客数の変動調査
- c. 使用水量の月別変化
- d. 処理方式と施設の図面
- e. 営業時間

② 調査方法

旅館、ホテル等の宿泊施設については、家庭からの発生負荷量調査と同様の手法で実施し、利用者数の変動が激しいので、調査期間中の使用水量及び施設利用者数の時間変化を同時に調査する。また、日帰り客も利用するドライブイン、サービスエリア等での便所排水量調査については、利用者数及び洗面所利用者の実態を把握しながら、発生負荷量及び処理施設からの排出負荷量を調査する。

特に、利用者が集中する5月連休、8月のお盆休み及び正月休みのいずれかの時期での調査と、そうでない通常の時期での調査を行う。

各時間での原単位を求め、利用者の人口動態より発生負荷量を算出する。

(2) 発生汚濁負荷量の算出

発生汚濁負荷量は次の方法で算出する。

① 実測による方法

実測法では、対象施設別に次の手順で算出する。

a. 1日、1人当りの負荷量

1日、1人当りの負荷量 (g/日・人)

= 調査日の1日間の総負荷量の合計 (g/日)

÷ 利用者数 (従業員含)

b. 負荷量原単位

調査の対象や調査時期の違い、調査の精度などを考慮して、負荷量原単位を算出する場合、年間を通じて行う実測調査の結果(調査回数、N)を用いて次のように算出する。

負荷量原単位 = $1 \div N \times \Sigma (C \cdot Q / \text{利用者数})$

c. 年間総負荷量

年間の総負荷量を算出する場合、a. で求めた負荷量原単位と利用者数、営業日数のデータを用いて算出する。

② 原単位を使用する場合

a. 代表施設の実測値により原単位を求める場合

b. 既存資料の原単位を用いる場合

上記いずれの場合にも次式を用いて算出する。

発生汚濁負荷量 (g/日)

= $\Sigma \text{発生汚濁原単位 (g/人・日)} \times \text{利用人数}$

ただし、旅館等においては宿泊人数と日帰り利用入

数等の把握を行なう。

(4) 原単位の実測例

既存資料による原単位列を以下に示す。

表-2・34 都市型ホテル、ビジネスホテル、割烹旅館等の調査事例²³⁾

	都市型ホテル	ビジネスホテル	割烹旅館(浴泉)
BDO値 (mg/l)	51~395	14~279	24~212
BOD原単位 (g/人・日)	56.2	68.1	31.1~59.5
排水量原単位 (l/人・日)	468	580	710~1,150
水量変動比	2.7	3.3	4.0~5.7

表-2・35 旅館業汚濁原単位²⁵⁾

BOD	COD	SS	T-N	T-P	単位
19	20	15	2.8	0.41	g/人
140	100	75	14	2.1	g/m ²

(長崎県調査)

表-2・36 ホテルにおける(便汚水)+(厨房排水)の濃度と汚濁負荷原単位²⁶⁾ (例)

汚濁物質	濃度, mg/l			汚濁負荷量 原単位 (g/人・日)
	最小	最大	平均	
BOD	31	395	120	56.2
SS	20	188	98	45.6
COD(低)	11	43	25	11.5
(Amn-N)+(Alb-N)*	11	64	28	13.3
n-ヘキサン抽出物質	1.6	28.4	14.2	6.7
リン酸イオン	0.3	16.7	6.7	3.1
ABS	0.3	5.1	1.9	0.9

* (アンモニア性窒素)+(アルブミノイド性窒素)

6) 農地からの汚濁負荷

日本の国土面積に占める農耕地の割合は14%で、山林の67%に対し約20%に過ぎないが、肥料の施肥や使用水量の多いことから、その発生量は山林からの発生量よりも大きいと言われている。

ここでは、農耕地の主要な利用形態である水田と畑地について扱う。既往の調査例を調べると、調査項目が窒素、リン等の栄養塩類がほとんどであり、BOD、

② 調査方法

「(2) 全工場に対する実測法」と同じ

③ 原単位算出法

原単位は、製造品出荷額をベースとする。従って出荷額の大小を考慮し、次式により原単位を求める。

発生汚濁原単位 (g/日・百万円)

$$= \Sigma \{ \text{日平均負荷量 (g/日)} \} / \Sigma \{ \text{製造品出荷額 (百万円)} \}$$

なお、流域全体で、製造出荷額を工場の規模毎に分ける場合は、規模毎に原単位を求めておくと、より正確な負荷量が把握できる。

(4) 原単位例

既存資料による産業中分類別原単位¹⁵⁾の例を表-2・26に示す。

3) その他の事業所からの発生負荷

調査対象流域内には、工場以外に飲食店、レストラン、給食センター、大規模弁当製造業、ホテル、旅館、スーパーマーケット等、飲食に関係する事業所が存在する。これらの事業所からの排水は、時間的な排水パターンが似ている。すなわち、人間生活の中で朝食、昼食及び夕食の時間帯が概ね決まっているため、調理

時間と後かたづけの時間が決まっており、それが繰り返されていることである。もちろん、和食、洋食、中華など業種により、BODの発生負荷量は大きく異なるが、一般的発生負荷量は卓数、食堂面積あるいは建物延床面積等との間になんらかの相関のあることが認められている。図-2・7、2・8、2・9にスーパーマーケット(肉類)、給食センター、ホテルでの調査例を示す。

現在、多くの事業所では大型の合併処理浄化槽で汚水処理を行っているので、浄化槽の流入部と流出部を調べ発生負荷量と排出負荷量を同時に調査するとよい。

青果市場、魚市場の就業時間も概ね決まった時間で活動しているので、排水のパターンにあわせて調査を行うと良い。また、公民館、公営競技場(競馬、競輪)のように利用者あるいは入場者の数が、開催日あるいは曜日にかたよる場合は、それらの日に調査し、水使用は代表的な箇所としての①便所、②食堂、③空調及び④清掃などがある。

図-2・8のように排水量調査が困難な場合は、水道メータの時間変化を読み取り、処理施設への流入部と流出部での採水を行い各負荷量を算出する。

表-2・26 工場排水の原単位(単位: g/百万円・日)

産業別分類	BOD	COD	T-N	T-P
18-19 食料品	306.9	189.1	13.50	3.81
20 繊維工業品	135.3	83.0	4.11	4.84
21 衣服その他の繊維製品	0.7	0.7	0.04	0.01
22 木材、木製品	0.6	0.6	0.04	0.01
23 家具、装飾品	0.8	0.8	0.05	0.01
24 パルプ、紙、同加工品	430.0	641.0	27.52	4.73
25 出版、印刷、同関連品	1.2	1.2	0.08	0.01
26 化学工業製品	183.1	114.5	11.90	0.71
27 石油製品、石炭製品	27.0	49.0	1.66	0.29
28 ゴム製品	47.0	95.0	3.00	0.52
29 なめしかわ、同製品毛布	118.0	79.0	7.60	1.30
30 窯業、土石製品	2.0	3.6	1.84	0.20
31 鉄鋼	10.5	5.0	0.83	0.49
32 非鉄金属	0.7	1.5	1.06	0.10
33 金属製品	1.3	1.0	1.69	0.09
34 一般機械器具	0.4	0.5	0.46	0.13
35 電気機械器具	1.3	3.7	0.08	0.01
36 輸送用機械器具	0.7	1.5	0.04	0.01
37 精密機械器具	2.2	2.0	13.01	0.16
39 その他の製品	3.0	4.2	3.29	0.39

SSについての調査例は少ない。この窒素、リンの原単位についても、調査対象区域の大きさ、土壌のタイプ、肥培管理、降水条件、水管理方法の違いにより、結果はまちまちであり、さらに人為的影響も大きい。すなわち、発生負荷量の原単位の精度は、対象流域での総発生量の評価に大きく影響するにもかかわらず、その原単位を正しく把握することはきわめて難しい。

(1) 水田からの発生負荷量

① 水田による発生負荷量の特徴

面的な排出システムをとる水田からの汚濁負荷は、その発生負荷量と排出負荷量が同じであると評価することができる。

この水田からの発生負荷量は、播種あるいは田植えの時期から、収穫までの間の稲の成長過程に応じて行われる肥料と水管理の内容から湛水期間、非湛水期間が混在した状態で変動するので、窒素、リン、カリの肥料成分だけでなくBOD、SS等も非定常に流出するため、発生負荷量を求める場合、年平均あるいは、月平

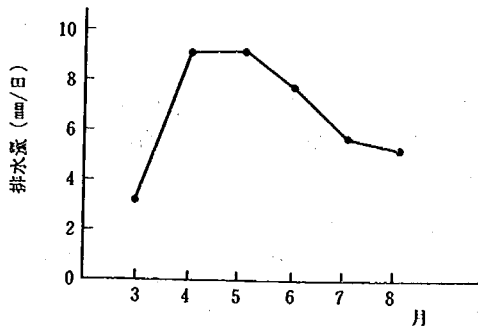


図-2・13 水田の使用水量の月別変化²⁷⁾

均など、単位の取り方にも注意が必要となる。図-2・13(文献²⁷⁾より作成)、2・14に示すように、水田での水使用量は稲の成長過程により異なり、時期によって3倍程度の違いがある。

さらに、間断灌漑法や掛け流し灌漑法など、採用している水管理方法によっても発生負荷量は異なるといわれている。

② 調査方法

水田からの発生負荷量を調査する方法としては以下の4方法(図-2・15)があるといわれている。

- 水収支ライシメーターを用いる方法
- 1区画(1筆)農地を用いた方法
- 広域圃場の用排水路を用いた方法
- 農耕地河川の上下流での物質収支を用いた方法

aの方法は、実験土壌を採取運搬するため土壌を一旦ほぐし、ライシメーター内で、再び同じ様な状態に転圧等を行って加工するため、自然の状態と異なる。

bの方法は流入部(水口)と排水口(水尻)に流量計を設置するため、その調査自体の影響と調査対象となったことによる、水管理の計画対応が有り、広域水田調査より全体的に流出量が少ない。勿論、表面流出のみで、畦畔から排水路への流出による量が計測できない欠点もある。

cの方法は、一区画水田調査で述べた欠点は少ないが、適地の確保に困難さがある。

dの方法は、農耕地以外の例えば畜産、民家等の発生源から排出負荷量を補正するか、あるいは無視でき

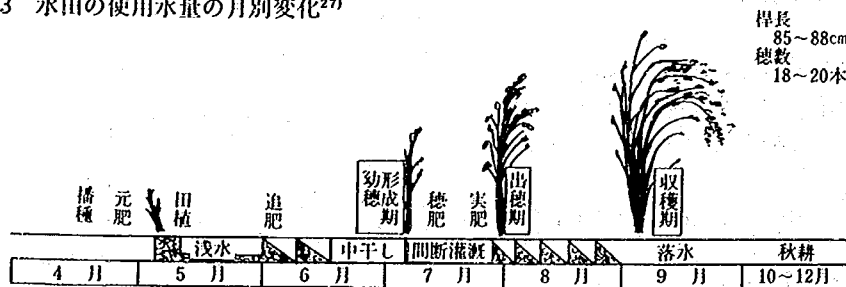


図-2・14 水稻の栽培暦の一例²⁸⁾

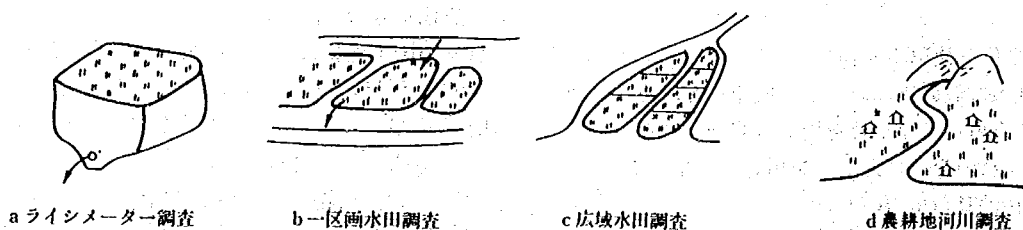


図-2・15 水田からの発生負荷量の調査方法²⁸⁾

るような場所を確保しなければならないことと、各農家の農作業が同一でないので、調査流域の平均的な値となることに注意することが必要である。

また、c, dで上流ブロックの水田の排水が一部下流ブロックの水田に取り込まれるように設計されている場合や、下流部でポンプアップして反復利用するよう設計されている場合もあり、用排水の反復利用率を考慮する必要がある。

経験的には、水田の立地条件のうち土壌の透水性と灌漑条件、地形の傾斜が流出負荷量に大きな影響を与えると推察される。流域の水田を湿田、普通田、乾田、循環灌漑水田、傾斜地水田の5つのタイプに分類した場合、窒素は循環灌漑水田<普通水田<乾田<湿田<傾斜地水田の順に、リンは普通水田<循環灌漑水田<湿田<乾田<傾斜地水田の順に汚濁負荷が大きくなる傾向にある²⁸⁾。

i. 流量測定

水収支が明確な調査地点を選定し、用排水量を求める。用水量は、ポンプの運転時間等からも求めることができるが、流量の計測が可能な地点では実測する。排水量についても実測する。

ii. 採水頻度と調査回数

用排水とも水質変動は小さいと考えられるため、4時間間隔程度で行う。採水期間については、代掻き、田植え等の作業工程毎に使用水量、肥料量も違うため、作業期間別に行う必要がある。

調査回数については、灌漑期と非灌漑期に分けて考え、灌漑期については平常時と降雨時、非灌漑期については降雨時のみを対象とする。

イ. 灌漑期

1. 平常時

平常時については月1回～2回。代掻き期についてはこの間で2～3回。

2. 降雨時

灌漑期の降雨時については、この間2～3回

ロ. 非灌漑期

非灌漑期については平常時の流出はないとみなして、調査は降雨時のみ実施する。

iii. 調査項目

イ. 灌漑期では、流入水及び流出水の水質、排出水量、雨量(降雨時のみ)

ロ. 非灌漑期では、流入水の水質、排出水量、雨量(降雨時のみ)

但し、雨量については実測が望ましいが、近くの気象台の観測資料を利用してもよい。

iv. 降水量

降水量は、用水量も含まれるので、計量する必要がある。計測が困難な場合には、近くの気象台の観測データを参考にする。

v. 分析項目

BOD, COD, SS, TN, TP等。

vi. 準備品

一般的に使用するものを次にあげるが、状況に応じて必要と思われるものを適宜追加する。

流速計、堰、浮子等の流量観測器具、ストップウォッチ、野帳、筆記具、ロッド、胴長又は長靴、バケツ、ポリビン、温度計、アイスボックス、氷、その他

③. 原単位算出法

a. 灌漑期

イ. 平常時発生汚濁原単位

平常時発生汚濁原単位 (g/ha・日)

$$= \frac{1}{n} \sum [\text{排出水量 (m}^3/\text{ha} \cdot \text{日)} \times \{\text{流入水質 (mg/l)} - \text{流入水質 (mg/l)}\}]$$

ただし、n: 調査回数

ロ. 降雨時発生汚濁原単位

降雨時発生汚濁原単位 (g/ha・mm)

$$= \frac{1}{n} \sum \{\text{降雨時流出負荷量 (g)}\}$$

$$\times \frac{1}{\text{調査地点の集水面積 (ha)}}$$

$$\times \frac{1}{\text{調査対象降雨量 (mm)}}$$

ただし、n: 調査回数

ハ. 灌漑期平均発生汚濁原単位

灌漑期平均発生汚濁原単位 (g/ha・日)

$$= \text{平常時発生汚濁原単位 (g/ha} \cdot \text{日)} + \text{降雨時発生汚濁原単位 (g/ha} \cdot \text{mm)} \times \frac{\text{灌漑期間中の総雨量 (mm)}}{\text{灌漑期間日数 (日)}}$$

b. 非灌漑期

イ. 降雨時発生汚濁原単位

降雨時発生汚濁原単位 (g/ha・mm)

$$= \frac{1}{n} \sum \{\text{降雨時流出負荷量 (g)}\}$$

$$\times \frac{1}{\text{調査地点の集水面積 (ha)}}$$

$$\times \frac{1}{\text{調査対象降雨量 (mm)}}$$

ただし n: 調査回数

ロ、非灌漑期の平均発生汚濁原単位

$$\begin{aligned}
 & \text{非灌漑期平均発生汚濁原単位 (g/ha・日)} \\
 &= \text{平常時発生汚濁原単位 (g/ha・日)} \\
 &+ \text{降雨時発生汚濁原単位 (g/ha・mm)} \\
 &\times \frac{\text{非灌漑期間中の総雨量 (mm)}}{\text{非灌漑期間日数 (日)}} \\
 &\text{年平均発生汚濁原単位 (g/ha・日)} \\
 &= \text{灌漑期平均発生汚濁原単位 (g/ha・日)} \\
 &\times \frac{\text{灌漑期日数 (日)}}{365 \text{ 日}} \\
 &+ \text{非かんがい期平均発生汚濁原単位} \\
 &(\text{g/ha・日}) \times \frac{\text{非灌漑期日数 (日)}}{365 \text{ 日}}
 \end{aligned}$$

④ 原単位例

既存資料による原単位の例を以下に示す。

表-2・37 水田の原単位

	BOD	COD	TN	TP
水田(g/ha/日) ²³⁾	87.9	329.9	—	2.9
水田(kg/ha/年) ²⁹⁾	2.1	88.3	19.35	0.329

表-2・38 水田の原単位³⁰⁾

	COD	TN	TP
5 月初旬	3.7	0.5	0.07
5 月中旬	0.3	1.0	0.02
7 月下旬	0.4	0.1	0.03
8 月下旬	0.3-0.4	0.04-0.05	0.03-0.04

⑤ 水田調査の実施例

建設省土木研究所が実施した水田調査³¹⁾の概要を示す。調査は、表-2・39に示す4地点で実施したが各々の地点の特徴を下記に示す。

a. 泉調査水田の場合は、湖畔(手賀沼)に隣接しており、沼の水位と地下水位が連動して、地下浸透量に影響を及ぼすが、家屋、畜舎などがなく、他の発生量の影響を受けない。

b. 小森調査水田は、計量できない湧き水があることと、使用されない余水が、末端の排水路に流入し、水田からの発生負荷量が正確に測定できない。

c. 甚兵衛調査水田は、用水の余水が末端の排水路に流入し、排水測定点で、計測できないので、用水量と排水量が異なることに注意を要するが、他の発生源はない。

d. 一本松調査水田は、背後の山地からの流入系統が不明確で、水田群に隣接している豚舎の影響を受けている恐れがある。

このように、調査地点によってはさまざまな問題を含んでいるが、調査対象とする水田については、用排水系統がはっきりしていること、用排水量が全量計量できること、他の発生源からの発生負荷量がないか、あるいは、あってもその影響がカウントできて、結果を修正できることが必要である。図-2・16は、泉調査水田の灌漑時における通日調査の結果である。用水は午前6時から午後5時まで供給されているが、排水は用水から6時間遅れて流出しており、この種の調査では通日調査を行う必要がある。

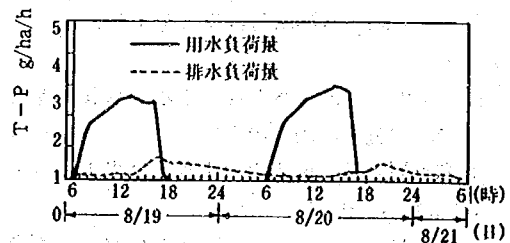
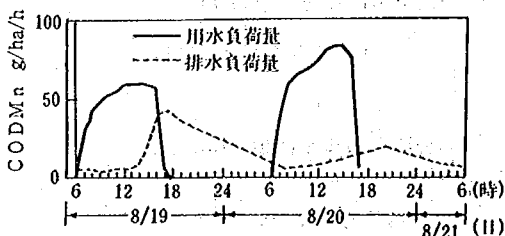
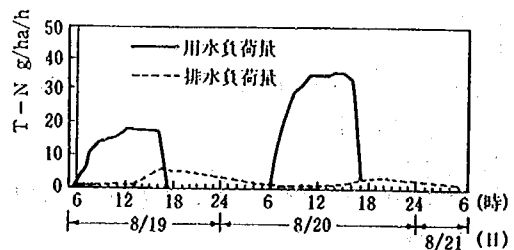
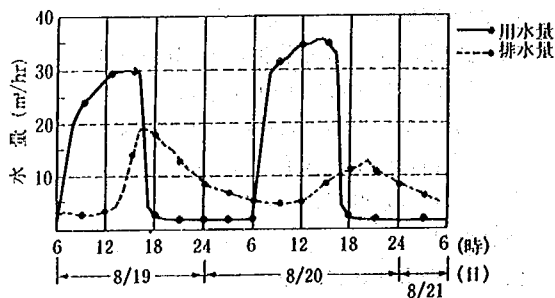


図-2・16 連続調査による用排水の経時変化³¹⁾

表-2・39 水田調査箇所の外用³¹⁾

流域名	区域名	水田面は 下段()は 耕作者一人 当りの面積	用水系統	概要図
手賀沼 流域	泉 調査水田	5.3ha (0.19 ha/人)	上流部に2カ所、中 間部に3カ所の用水 口が有り、農用水堰 堤より送水されてい る。	
小手賀沼 流域	小森 調査水田	4.3ha (0.25 ha/人)	上流部に2カ所の用 水口があるが、他に 用水が少量湧出して いる所がある。	
印旛沼 流域	甚兵衛 調査水田	8.7ha (0.48 ha/人)	2カ所の用水口があ りU字橋を通じて各 田圃に用水されてい る。	
印旛沼 流域	一本松 調査水田	6.3ha (0.22 ha/人)	堰堤から分配槽に場 げられた用水が途中 までパイプラインで 送水されるが、調査 水田の直上流で開水 路となりU字橋に分 配されて水田群に用 水されている。	

(2) 畑地からの汚濁発生負荷量

① 畑地からの汚濁発生負荷の特徴

畑地から発生する負荷は地下浸透によるものと、降雨時に見られる表面流出によるものとがある。晴天時および小降雨時においては、表面流出による発生負荷量は無視できるので、暗渠排水路で計測できる地下浸透水を評価する。

この地下浸透水の水質は土地地質の物理化学的作用や生物化学的作用を受けるので、一般にBOD、SSはは

とんど除去されておりアンモニア態窒素の酸化物である硝酸態窒素のみが問題である場合が多い。50~100 mm/ha以上の強い降雨が有る場合は、上述の地下浸透量以外に表面流出による発生負荷が有るので、表面流出負荷量の調査を実施しなければならない。しかし、畑作地帯では排水路系統が未整備であることが多く流量の把握は極めて困難である。このため、地形的に集水しやすい地域を選定することが大事である。なお、表面流出負荷量に影響する因子としては、降雨量をは

じめ栽培作物の種類と作付回数、栽培作物による被覆度、施肥等肥培管理の方法、土壌成分、調査区域の勾配なども調査する。

② 調査方法

a. 調査地点

事前調査で得た情報を基に、流域内の代表的地点を選ぶ。畑は水田に比べて畑区域としてまとまった面積が小さい場合が多いことから、一つの調査対象区域の面積も小さいことが想定される。このため地点数を多くし、平均的な値を得るようにすることが重要である。なお、畑で栽培される作物による違いを考慮する場合は、流域内の栽培作物種の多いものに調査地点の配分のウェイトをかけるようにする。

b. 調査項目

イ. 水 質

ロ. 調査対象区域からの流出量

ハ. 雨 量

雨量についても実測することが望ましいが、気象台の観測資料を利用してもよい。

c. 調査回数

野菜畑についても降雨時年数回、茶畑、果樹園についても降雨時年数回を実施し、降雨時は、1回につき流出の始めから流出の終了までの期間内で、流出期間中の負荷量を把握できる回数を実施する。なおこの間、流出のピーク時付近で少なくとも1回は調査するように注意する。

d. 準備品

一般に使用するものを次にあげるが、状況に応じて必要と思われるものを適宜追加する。

流速計、堰、浮子等の流量観測器具、ストップウォッチ、野帳、筆記具、ロッド、胴長または長靴、バケツ、ポリビン、温度計、アイスボックス、氷、その他

③ 発生汚濁原単位算出法

a. 降雨時発生汚濁原単位法

次式により、降雨時発生汚濁原単位を算出する。

降雨時発生汚濁原単位 (g/ha・mm)

= 降雨時発生汚濁負荷量 (g)

$\times \frac{1}{\text{調査地点の集水面積 (ha)}}$

$\times \frac{1}{\text{調査対象降雨の降雨量 (mm)}}$

b. 平常時発生汚濁原単位

畑地からの発生負荷量を算定する場合、通常は降雨時のみの流出負荷をカウントすればよいが、水田を乾田化した畑地、あるいはスプリンクラー散水を実施し

ている果樹園、茶畑などの中には、暗渠排水路が付設してある場合がある。このようなケースでは、一般に、散水された水量の一部は暗渠排水路を経由して農業排水路に放流されるので、畑地からの浸透水であることが明らかになるような地点において、排出負荷量調査を実施する。

このような条件で得られた発生負荷量から晴天時における発生負荷量を算定する。

晴天時発生負荷量原単位 (kg/ha/d)

= 流出負荷量 (kg/d) ÷ 畑地面積 (ha)

③ 原単位の実測例

既存資料による原単位例を以下に示す。

表-2・40 畑の原単位例

	BOD	COD	TN	TP
畑 ³²⁾ (g/ha/日)	23.7	49.5	—	1.36
畑 ³³⁾ (kg/ha/年)	—	—	35.7	0.371

7) 市街地からの汚濁負荷

(1) 市街地からの発生汚濁負荷の特徴

市街地を構成する個々の特定汚濁源から排出される汚濁負荷に対して、面的な広がりを持つ道路、屋根、公園などの市街地表面には、降下ばいじん、ふんじん、ほこり、排気ガス中の凝固物、動物の排泄物、小動物の死骸、落葉、空き地・公園等からの浸食土壌、土木・建築現場からの残土など、ありとあらゆる「もの」が堆積している。ここでは、これらの面的な汚濁源（非特定発生源）からの発生負荷量を扱い、河川への流入は一般に降雨時での雨水流によって掃流されるので、降雨時の調査が主体となる。

ここでは、現在までの非特定汚濁源からの発生負荷に関する調査研究成果を説明し、発生負荷に関与する因子、すなわち調査すべき項目を述べる。

まず、発生汚濁ポテンシャルについてであるが、路面あるいは屋根などに堆積している汚濁物量はいくら晴天時が続いたとしても、ある一定の上限を持つ最大堆積量が存在し、無限量として扱ってはならない。このため残存堆積量、汚濁物の供給速度と残留率、最大堆積負荷量などを実測あるいは推定しなければならない。そして、主要な供給源でもある降下ばいじんの測定も必要である。

ついで、これらの堆積した負荷量は雨水時の雨水流によって掃流されるので、雨水の流出特性を把握する必要がある。

一般に、全降雨量と実際の降雨流出量を比較すると、

後者の方が小さく、その程度は浸透域の方が大きくなる。この場合の損失水量は次のような要因が考えられる。1) 蒸発、樹木等による蒸発散によるもので、降雨時には無視できる量である。2) 浸透によるもので、大別して浸透域 (pervious area, 庭、空き地、公園、裸地など) と非浸透域 (impervious area, 道路、屋根など) があり、降雨損失は浸透域で大きい。浸透域においても、人によって踏み固められた所では浸透能は小さくなる。凹地では、一旦凹地貯留を満たしたのち浸透能を超えた雨水が流出する。一方、非浸透域内の凹地では、浸透能がないと考えてよく、貯留、蒸発以外のほとんどの雨水は流出する。実際には、複雑な流下経路の相違や土地利用 (工種) による浸透能の相違があり、単純には説明できないであろうが、模式的に示すと図-2・17 のようになる。同図からも明らかなように、市街地からの流出負荷量は有効雨量に関係している。

このように、市街地からの発生負荷量は市街地内に存在する発生負荷量の調査と雨水流の掃流能力、すなわち雨天時の降雨強度 (mm/hr)、流出負荷量、負荷流出係数 (l/mm) を求めなくてはならない。

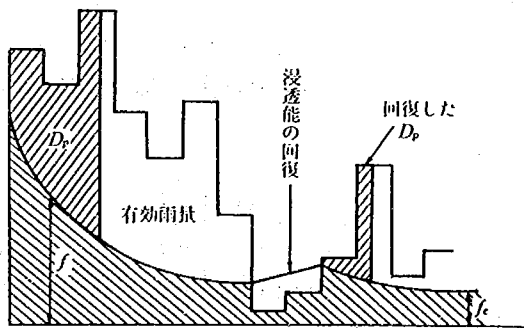


図-2・17 市街地での降雨と流出負荷量との関係³³⁾

(2) 発生 (堆積) 負荷量の調査方法

① 降下ばいじんの測定方法

降下ばいじん量は、大気汚染の程度、交通量などに関係し、一般に都市部では 1.2kg/ha/d 、浸透域が70%以上の地区でも 0.3kg/ha/d 程度が観測されている。このため、市街地の状況、例えば住宅地、商業地区、工場地区別に降下ばいじん捕集器を据付け、晴天時に測定する。

② 路面での汚濁負荷堆積量の測定方法

路面での汚濁負荷堆積量についても住宅地、商業地区、工場地区別に調査を行う。調査は調査区域内の主要な堆積物をシャベル等で回収したのち、残留するすべての堆積物をデッキブラシや電気掃除機を用いて回収する。

③ 屋根からの汚濁発生負荷量の測定方法

屋根からの汚濁発生量は降雨時あるいは人工散水によって流出する流量と水質データから算出する。流量測定は排水用樋を利用して行う。なお、屋根の工種 (コンクリート製、陶器ガワラ)、勾配により、堆積物のたまり易さ、流出のし易さは影響されるので統計的に処理できる調査箇所数を確保して実施する。

④ 分流式雨水用管渠での汚濁発生負荷量の測定方法³⁴⁾

図-2・18のように上流端マンホールの上蓋をとり、量水堰 (30° 三角堰、含水槽) を、流れがちょうど下水管に落下する位置に設置する。水槽には2台のポイントゲージを設置し、1台のポイントゲージは計画越流水深にセットし、他の1台は実越流水深の追跡用に使用する。水槽への供給水を消火栓から受水する場合は、担当係官の立会いのもとで行い、あらかじめ受水能力の試験を実施しておく。また、消火栓のバルブを開くと最初のうち水道管内のサビ等によるニゴリが出るため、初期のうちは実験用ホースとは別のホースを消火栓にセットし、他流域に流す必要がある。採水準備と

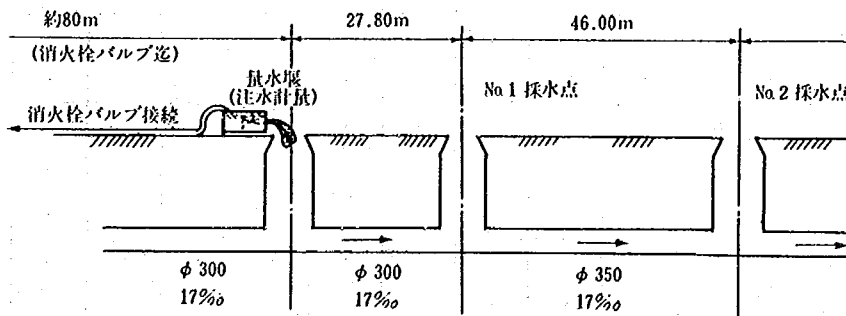


図-2・18 市街地での汚濁負荷流出特性調査地点図³⁴⁾

してはNo.1とNo.2地点に採水用具、試料ビン、洗浄水等を用意する。

(3) 排出負荷量の調査方法

雨天時における汚濁負荷の流出特性を調べるためには、流出負荷量に関係する因子すなわち、すでに述べた初期残存負荷量と降雨強度(r_e , mm/hr), 負荷流出係数(k)をもとめる。このような調査を数多く実施すれば、各調査時点の総雨水流出量で加重平均し、各調査区域特有の平均的負荷流出係数 k を求めることができる。また先行降雨係数 APF (Antecedent Precipitation Factor, $APF = \sum R_t / I$, mm/dただし R_t は t 日目の降雨量, mm)を各データから求め、その値が0に近く、総雨水流出量が大い降雨時の P_0 を最大堆積負荷容量(最大堆積負荷量) P_{max} とすることができる。このようにして、 P_0 , k を求めれば、ひと雨負荷量の推定が行えるだけでなく、年間ベースの負荷流出量を求めることができる。

以上の説明の通り、市街地からの流出負荷量調査で得られるデータを統計処理できるよう必要な回数を実施する。

調査方法としては、自然降雨時に行うか、散水車を利用した人工降雨による方法がある。後者の人工降雨による調査は、図-2-19のような必要散水量を入れた量水槽を車に載せ、設定する降水量が路面に供給できるようにして行う。本法は、調査箇所および降雨強度を

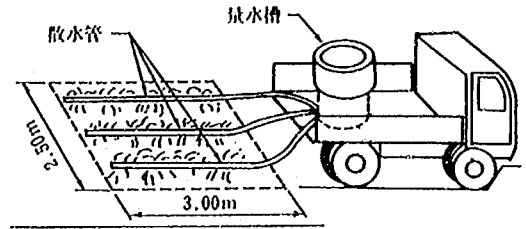


図-2-19 路面散水実験の概要³⁴⁾

自由に設定できる利点がある。なお、流出水の流量と採水方法については、路面の側溝槽を利用する。

(4) 原単位の算出方法

ここでは、路面、屋根についての調査結果から、流出負荷量の算定方法について述べる。すでに説明したように、各調査区域ごとに1回だけの調査を実施したとすると、その調査時点における降水量と初期堆積量に対応する流出負荷量が一つ求まるだけである。年間100回程度の降雨を全て対象にした調査は経済的にも、労力的にも現実的ではない。また、河川の負荷量調査に合わせて実施することも体制上困難であろう。

こうしたことから、ここでは「ひと雨負荷量」の推定方法と年間ベースの負荷流出量の推定方法について述べる。

① 多変量重回帰分析による方法

ひと雨によって流出する負荷量 Y (kg/ha) は、次の

表-2-41 地点別水質の時間変化

地点	採水時間	水量	BOD ₅	溶解性	COD	TOC	SS	T-N	T-P	Cl ⁻	S ²⁻	Pb	Cu	Zn	Mn
No.1 (7.5m ²)	0-2.5	11.0	88.4	75.4	136.0	71.8	(376)	18.3	0.78	52.1	0.17	0.44	0.18	0.85	0.44
	-5.0	"	41.0	45.8	86.1	57.7	77	11.3	0.31	25.2	0.17	0.08	0.07	0.57	0.27
	-7.5	"	25.6	18.0	46.9	18.1	21	7.64	0.15	13.0	0.07	0.03	0.04	0.35	0.12
	-10.0	"	14.9	15.9	34.5	12.1	18	5.18	0.11	9.2	0.13	0.03	0.02	0.27	0.09
	-15.0	22.0	15.5	12.2	24.1	9.2	13	4.61	0.09	7.9	0.14	0.03	0.02	0.25	0.07
	-20.0	"	9.3	10.3	20.6	5.8	5	4.47	0.08	7.5	0.11	0.01	0.01	0.24	0.06
	-30.0	44.0	7.5	7.6	15.4	5.7	7	3.73	.	.	.	.	.	.	.
	-40.0	"	6.4	7.2	14.5	4.1	13	.	.	.	.	.	.	.	.
	-50.0	"	5.8	6.3	12.1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	路面洗浄	25.0	23.8	9.5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
No.2 (6.0m ²)	0-25	7.8	72.4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	-5.0	"	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
	-7.5	"	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

ような数学的モデルによって十分に予測ができる。

$$Y = a \Sigma r_e + b r_e + c APF + d \quad (2.1)$$

ここに、 Σr_e (mm)は有効雨量、 r_e は平均有効降雨強度(mm/hr)、 APF は先行降雨係数(mm/day)、 a, b, c, d は偏回帰係数である。表-2・42は、K市のH排水区で雨天時に調査した結果から求めた偏回帰係数と重相関係数(m.c.c.)を示したものであり、非常に高い精度で予測できることがわかる。

表-2・42 偏回帰係数と重相関係数³⁵⁾

	a	b	c	d	m.c.c
BOD	.041	.306	-.073	1.065	.938
COD	.073	.367	-.194	1.322	.913
SS	.693	1.47	-1.422	12.06	.993

総排出負荷量はY値に調査対象面積を乗じて求めることができる。ただし重回帰分析を行うには、調査回数(データ数) n が重回帰モデルに使用している変数(a, b, c, d) $p=4$ の数よりも大きくなくてはならないことに注意する($n \geq p+1$)。

② 汚濁流出モデルによる方法

雨天時における汚濁負荷の流出特性は、降雨強度(r_e , mm/hr)との間に $L = K \cdot P \cdot r_e$ なる関係と負荷量の連続式 $dp/dt = -L$ が成り立つ。このため、(2)の項ですでに述べたように、調査時点における残存負荷量(p)と降雨強度のデータから次式をもちいて最小2乗法により初期残存量(p_0)、負荷流出係数(k)を求める。

$$P_0 - P = P_0 (1 - \exp(-kV)) \quad (2.2)$$

ただし $V = \int_0^t r_e dt$ である。

このような調査を数多く実施すれば、各調査時点の総雨水流出量で加重平均し、各調査区域特有の平均的負荷流出係数 k を求めることができる。また、先行降雨係数 APF を各データから求め、その値が0に近く、総雨水流出量が多い降雨時の P_0 を最大堆積負荷容量(最大堆積負荷量) P_{max} とすることができる。

このようにして P_0, k を求めれば、ひと雨負荷量の推定が行えるだけでなく、年間ベースの負荷流出量を求めることができる。

8) 山林(山地、原野を含む)からの汚濁負荷

(1) 山地からの発生負荷の特徴

山地、原野からの発生汚濁負荷は、主として降雨時の表面流出水による土壌等の浸食、流出によるものと、地下浸透したものが、地表に流出する時に地中の物質を溶脱することによるものと二通りがある。前者の表面流出は雨天時のみに見られるが、後者の浸透流出は雨天時でも晴天時でも見られる。

両者による流出負荷量の割合は、物質によっても異なるが、ほとんどが降雨時に流出する。一例として、香川県の上器川流域(図-2・20、2・21)での調査結果についてみると、年間総流出量に対する雨天時の総流出量の割合は、水量、BOD、TNなどが70%程度となっている。また、雨天時総流出量のなかに占める溶解成分の割合は、TP、COD、TNでそれぞれ22、51、76%であり、TNでは70%が硝酸態窒素として流出している。

このような結果が他の流域においても得られるであろうが、流域ごとの負荷流出量は降水量を始め、地形(傾斜度)、地質、植生(種類、分布状況、被覆率)等々の条件により異なる。また、このようなデータを得るための観測体制の困難から、統計的予測ができるほど

表-2・43 雨水流出に伴う都市域からの汚濁負荷量³⁶⁾

都市名	Cincinnati ³⁷⁾		San Francisco ³⁸⁾		Stockholm ³⁹⁾		Tulsa ⁴⁰⁾		岐阜市		神戸市	
	kg/ha/年	1降雨当り kg/ha/日	Selby通 kg/ha/年	Laguna通 kg/ha/年	35人/ha kg/ha/年	100人/ha kg/ha/年	最低 kg/ha/年	最高 kg/ha/年	1降雨当り kg/ha	kg/ha/年	1降雨当り kg/ha	kg/ha/年
BOD	42	1.85	28	32	14	43	13.4	54	1.13	127.2	4.75	397.9
COD	355	15.1	211	244			67	526				
SS	968	40.3	638	560	173	620	263**	2856**	15.6	174.08	23.5	2214.9
VSS			140	162					13.4	8.25	695.5	
N	12.9	0.52	7.8	9.2	1.4	3.5	1.00	4.0			1.10	
PO ₄	3.8	0.15	2.2	2.6							0.59	54
P					0.04	0.16					0.034	3.51

* Cincinnatiにおける流出負荷原単位およびSan Franciscoでの調査地点における年間1人当り流出量より求めた。

** 固形物量の50%と仮定した。

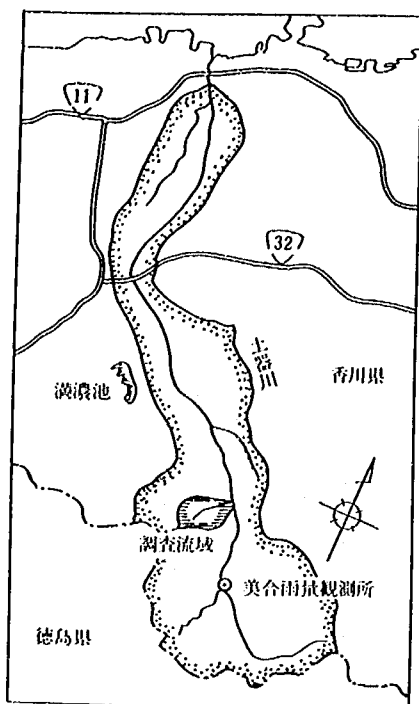


図-2-20 土器川流域の概要

の資料もほとんどないのが現状であるので、必要な調査を実施して発生負荷量を評価する必要がある。

(2) 発生汚濁負荷量の調査方法

降雨時の調査は、降雨による流出の初期段階から観測を開始しなければならず、各地気象台等の情報を活用して、降雨初期の観測が実施できるよう、準備することが必要である。

a. 調査地点の設定

調査地点の選定にあたっては、上流部に人家などの他の汚濁源の影響を受けない地点とする他、1)の事前調査に基づき、流域内の代表的山林を選ぶ。流域内の山林の植物相、地質の違いなど状況の違いに対応して地点をそれぞれ数地点ずつ選定する。

b. 調査項目

- イ. 水質
- ロ. 流量
- ハ. 雨量（降雨時のみ）

雨量については実測でなく近くの気象台の観測資料を利用してよい。

c. 調査回数

- イ. 平常時
1日1回 年4回。(四季別)
- ロ. 降雨時

一般に降雨流出時の水質は流量の規模に応じて変

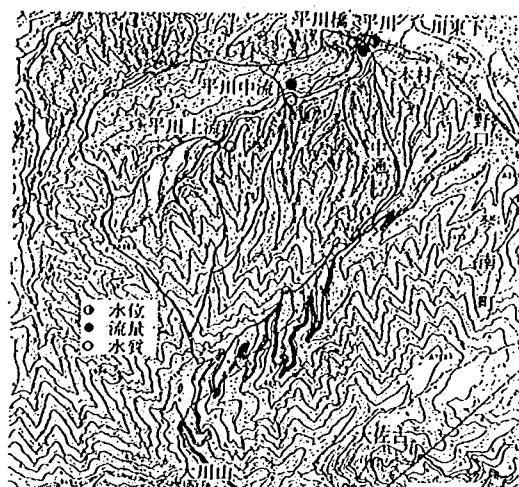


図-2-21 調査区域の地形と観測地点

動し、特に降雨初期においては流域あるいは河床などの沈積物が流出する。したがって、水質、流量共にその時間変化のパターンが把握できるような時間間隔で観測しなければならない。観測時間間隔は、一般的には流出初期においては数十分程度とし、ピーク時を過ぎて流量の変化が緩慢になってきたら、間隔を広げていくのが良いが、具体的には対象河川の特성에合うよう設定する。調査回数は年2～3回とする。

d. 準備品

一般的に必要なものを以下に示すが、現地の状況に応じて選択追加する。

ポリビン、アイスボックス、バケツ、ロープ、氷、温度計、流速計、浮子、けん縄、ロッド、ストップウォッチ、野帳、筆記具、胴長、くい、かけや、その他

(3) 原単位の算出法

a. 平常時（晴天時および出水の少ない日）

平常時の発生汚濁原単位は次式で算出される。

$$\begin{aligned} \text{発生汚濁原単位 (g/ha・日)} \\ = - \sum \{ \text{水質濃度 (mg/l)} \times \text{流量 (m}^3/\text{日)} \\ \times \text{調査地点の集水面積 (ha)} \} \end{aligned}$$

ただし、 n : 調査回数 (日数)

b. 降雨時（出水時）

まず、次式により降雨時発生汚濁負荷量を算出する。

$$\begin{aligned} \text{降雨時発生汚濁負荷量 (g)} \\ = \sum \left\{ \frac{S_i Q_i + S_{i+1} \cdot Q_{i+1}}{2} \times (t_{i+1} - t_i) \right\} \\ - \left\{ \frac{S_i Q_i + S_n Q_n}{2} \times (t_n - t_i) \right\} \end{aligned}$$

ただし S_i : i 番目の水質濃度
 Q_i : i 番目の流量
 S_0 : 降雨の影響が出始める前の水質
 S_n : 出水後の水質
 Q_0 : 降雨の影響が出始める前の水質
 Q_n : 出水後の流量
 $(t_{i+1} - t_i)$: i 番目と $(i+1)$ 番目の間隔時間
 $(t_n - t_1)$: 第1回目から最終回までの時間

以下を図-2・22に示すと、以下の斜線部分が降雨による負荷量となる。

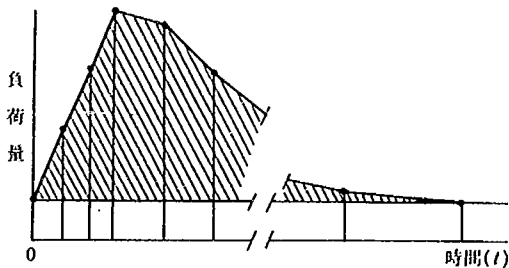


図-2・22 降雨による負荷量

次に、次式から降雨時発生汚濁原単位を求める。

降雨時発生汚濁原単位 (g/ha・mm)

$$= -\sum \{ \text{降雨時流出負荷量 (g)} \}$$

$$\times \frac{1}{\text{調査地点の集水面積 (ha)}} \times$$

$$\frac{1}{\text{調査対象降雨量 (mm)}} \}$$

ただし、 n : 調査回数 (日数)

c. 年間総流出負荷量の推定

出水時における流量と流出負荷量との間には、次のような関係がある。

$$\log L = A + \log B, \text{ または } L = A \cdot Q^B$$

ここで、 L : 流出負荷量 (g/sec) Q : 流量 (m³/sec)
 A, B : 定数

このような関係から、出水時の総流出負荷量は出水時調査データから L と Q の相関を項目ごとに求め、年間の流量データを用いて積算する。

一方、この流出量に平常時 (晴天時等、出水の少ない日) での総流出量を加えれば年間総流出量を求めることができる。

(3) 調査の実施例

四国地建四国技術事務所は、山林からの汚濁発生量を明らかにするため、香川県土器川の支川である平川について、その流域の植生、土壌調査及び流量観測を

実施して、次のような結果を得ている。

① 1982 (昭和57年) における流出水量は晴天時で39万m³ (晴天日329)、雨天日で93万m³ (出水日36日) であり、総流出水量の70%は出水時に流出した。

② 出水時におけるBOD, COD, TP, TN等の項目について流量 Q との相関を求め、表-2・44のような相関式を求めた。

③ 晴天時での流出負荷量、出水時での流量データ、および L と Q との関係から雨天時での流出負荷量を求め、年間総流出量を求めた結果、図-2・23に示すように、ほとんどの項目が出水時に流出していることが判った。

表-2・44 負荷量のLQ相関⁽¹⁾

項目	相関式	相関係数
BOD	$\log L = -0.654 + 1.13 \log Q$	0.96
COD	$\log L = -0.970 + 1.41 \log Q$	0.98
D-COD	$\log L = -0.153 + 1.18 \log Q$	0.98
TN	$\log L = -1.05 + 1.21 \log Q$	0.97
D-TN	$\log L = -0.625 + 1.09 \log Q$	0.97
NO ₃ -N	$\log L = -0.437 + 1.02 \log Q$	0.95
TP	$\log L = -3.06 + 1.41 \log Q$	0.94
D-TP	$\log L = -1.82 + 0.99 \log Q$	0.89

Q : 日流出水量 (m³/日)

L : 日流出負荷量 (g/日)

※ BODは溶解成分とSS成分の和である

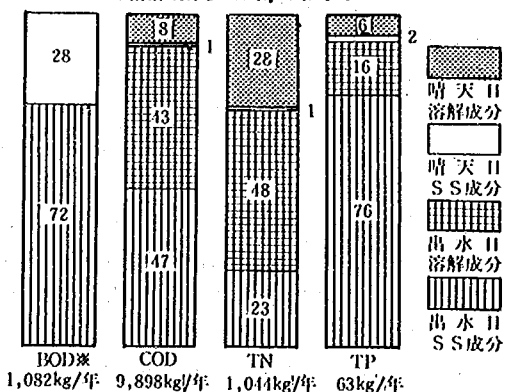


図-2・23 年間の晴天日及び出水日汚濁負荷量とその形態⁽¹⁾

④ これらの結果と既往の汚濁負荷原単位 (kg/day/km²) 資料による値を表-2・45および表-2・46に示す。

表-2・45 山地からの流出負荷量原単位(kg/km²・日)

項 目	本調査	真野川 ⁽²⁾	三田川 ⁽³⁾	川村等 ⁽⁴⁾	北上山地 ⁽⁵⁾	奥羽山地 ⁽⁶⁾
BOD	0.92			0.37	1.56	2.00
COD	8.20	36.1	2.95	1.53	2.56	2.77
D-COD	4.2					
T-N	0.90	1.01	1.21	0.59	0.455	0.325
NO ₃ -N	0.55					
T-P	0.052	0.035	0.025	0.022	0.016	0.016
D-TP	0.012					

表-2・46 耕地, 山地, 森林等からのN, P負荷⁽¹⁾

項 目	N(kg/ha・年)	P(kg/ha・年)	根 拠
農業排水	45~2.25	0.28	TWPC68-12による
地下水	0.56~11.25	0.0225	
森林流出水	1.46~3.36	0.336~0.9	
農業排水	26.5	0.27	OECD Report 琵琶湖の将来水質に関する報告書 昭和45年
山地・森林	6.94	0.184	
農業排水	27.84	0.36	

2.2.3 排出汚濁負荷量調査

各発生源からの排出負荷量は、家庭、工場、事業所、畜産業での直接放流されている負荷量のことであり、下水道施設や敷地内処理施設で処理されて放流されている場合は、その処理水による負荷量が排出負荷量ということになる。また、農地や市街地からの負荷量は発生負荷量と同時に排出負荷量でもある。発生負荷量に対する排出負荷量の割合を排出率といい、処理施設の除去率を用いて表わすと次のようになる。

$$\text{排出率} = \frac{\text{発生負荷量} - \text{除去量}}{\text{発生負荷量}} = 1 - \frac{\text{除去量}}{\text{発生負荷量}} \\ = 1 - \text{除去率}$$

このような排出負荷量の調査は、一般に発生負荷量調査に比べ困難ではない。また、処理施設の浄化率、排水基準等を参考にすることもできるが、設置されている処理施設の処理方法、運転方法により排出される負荷量は異なるので、あくまでも参考値にとどめるべきである。

処理後の排出汚濁負荷量には、

イ. 実測法

① 直接法

② 間接法

ロ. 算定法

① 原単位法

② 排水報告による方法

③ 排水基準により方法

④ 排出率による方法

などがあるが、処理施設の状況によって排出される負荷量が異なるため基本的には算定法よりも実測法を実施するものとする。

1) 実測による排出負荷量の調査

(1) 調査地点の選び方

調査地点が多く、全てを調査できない場合には、排水量が50m³/日以上(水質汚濁防止法による特定事業場の規模)の事業所排水口や排出汚濁負荷量として重要な地点を調査する。

(2) 観測測定項目

調査測定項目は流量及びBOD, COD, SS, 総窒素, 総リンとし、その他の項目は必要に応じて実施するものとする。ただし、排出源より下流の河川あるいは排出路が湖沼や閉鎖性水域に流入していない場合は、COD, 総窒素, 総リンの項目は省略できる。

(3) 調査の時期、回数

排出汚濁負荷量調査は、1日4回6時間毎を原則とする。ただし、生活排水や工場排水など生活リズムや操業状態によって日変動がある場合には、調査回数を排水状況を勘案して増減する必要がある。また、年間負荷量を求める調査では、工場の業種によって季節的な操業を行なっている場合もあるため、その操業状況の変化に合わせた調査を実施する。

本調査は、日均等時間を調査の原則とするが、夜間時間が不可能な場合には、日中の調査で日平均水質が求められるよう考慮する。

(4) 流量観測及び採水

排出汚濁負荷量の調査は、各汚濁発生源近傍の排水路で実施する。処理施設を経て排出されている場合でも、その排出口または、排水路で実施する。これらの排水路あるいは支川は、川幅の狭い場合が多く、大きな河川で実施する流観と異なるのが普通である。

ここでは、小さな水路などで応用できる調査方法について述べる。

① 流速計や浮子による方法

水深が50cm以上あるような水路では、プライス型または電磁誘導型の流速計を用い、水深6割の位置での流速を横断方向に等間隔で3ヶ所程度実測し、平均を求めて、河川断面を乗じることにより流量を求める。

$$Q = \left(\frac{v_1 + v_2 + v_3}{3} \right) \times A \quad (2.3)$$

浮子を用いる場合は、表面流速 v_s を求めた後、適当な係数(更生係数と呼ぶ)を乗じて平均流速 v を求め、河川断面を乗じて流量を算出するのが普通である。この場合の更生係数 a は B/H の関係から決まる値を図-2.24から求めて用いる。

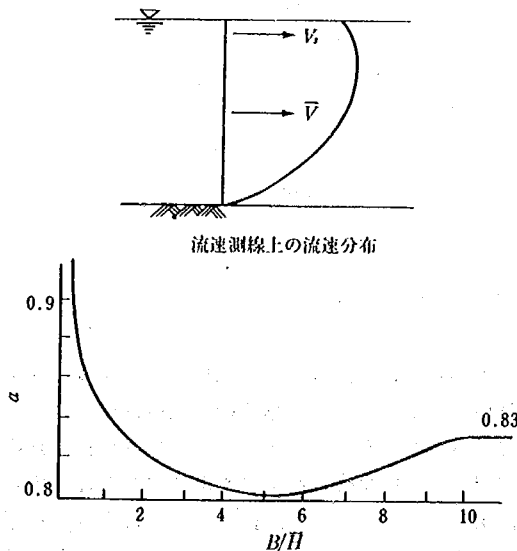


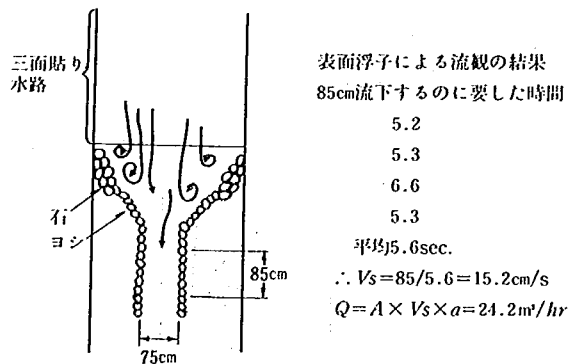
図-2.24 更生係数 a と B/H との関係

しかし、木片、油紙、発砲スチロールなどのように水中に充分没すことがないものは、風の影響を受け易く、表面流速を正確に計れないことに注意する。簡易的なものとしては、ポリピンに砂を入れ、上部が水面

に出るよう調節したものを用いる。

また、流速は比較的早い、水深が数センチと極めて浅い水路もよく見られる。このような場合の測定例を以下に述べる。次図のように、現場は三面貼りの水路で、自然水路に接続している。

自然水路の水深が10cm程度となるようシャベルで形成し、アシなどの茎を用いて、流れを図-2.25のように絞り込む。この時の断面積は533 cm^2 となった。流観に用いた絞り部は、幅75cm、区間85cmである。表面浮子による表面流速の結果は、15.2cm/secで、 $a=0.83$ を用いると流量は24.2 m^3/hr となる。一方、小型流速計を用いた結果では19.7 m^3/hr となる。すなわち、水深が浅い場合は、更生係数の決め方がむずかしく、誤差も大きいので、小型流速計が使用できるように流路の形成を行うとよい。



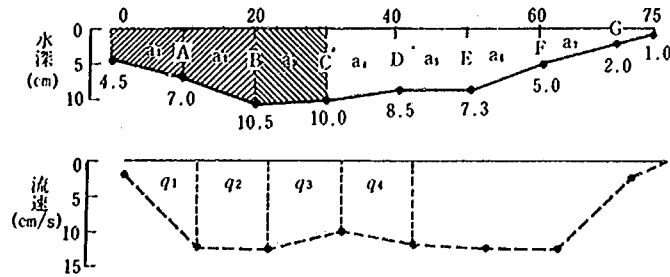
② 水位流量曲線による方法

水路から放流水が本川等に落下しているような場合は、背水の影響を受けないので、水位流量($H-Q$)曲線を用いて、水位変化から流量を求めることができる。まず、水路幅を図-2.26のように、木材等で形成し、なめらかな直線とすることもある。底面も平らにし、流れがスムーズになるようにする。このような状態では、流量 Q と水深 H とは次のような関係がある。

$$Q = a(H+b)^2 \quad (2.4)$$

a, b : 定数

すなわち、調査の開始前と終了時に、小型流速計を用いて、流量 Q を実測し、 Q と水深 H との関係から定数 a, b を求め、この値から、各時刻に実測した水深 H に対応する流量 Q を算出すればよい。



プロペラ式小型流速計による流観の結果

	A	B	C	D	E	F	G	H
断面積 (cm ²)	57.5	87.5	102.5	92.5	84.0	66.5	35.0	7.5
平均流速 (cm/s)	11.9	12.1	9.3	11.1	11.7	11.5	(1-2)	
測定回数 (n)	6	7	7	6	6	7	2	
区分流量 (cm ³ /s)	400	1050	1097	944	958	771	236	11

$$Q = A_1 v_1 = 19.7 \text{ m}^3/\text{hr}$$

図-2・25 小排水路での流量観測例

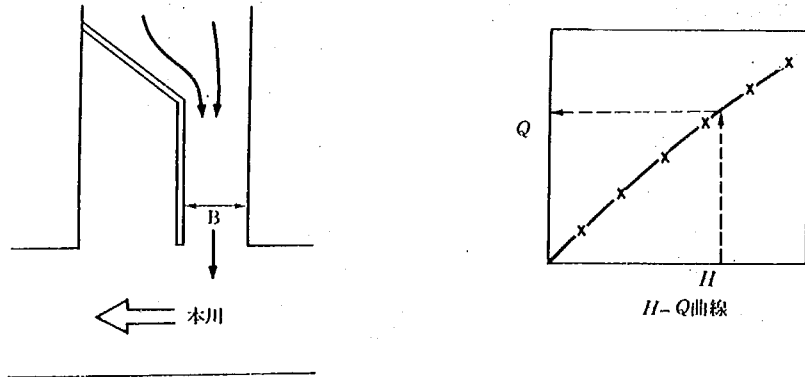


図-2・26 小排水路でのH-Qによる流量観測例

③ バケツ等による直接測定法

各発生源から排出口または、排水路から本川への合流点で、排水が落下しているような状況の場合、5 Lまたは10 Lの目盛り付きポリバケツで全量計測することができる。

ポリバケツは落下する排水直下にすばやくセットし、満杯になる時の所要時間をストップウォッチで計って求める。夜間等、流量の小さな時間帯では、測定時間を決めて、溜まった水量から流量を算出する。この方法は、単純であるが最も正確な方法である。

水質調査は流心採水とするが左右岸で水質の濃度が

異なる場合には横断方向に3点程度採水する。採水深度は原則として水面から水深の2割の深度で行う。採水は採水器で行なうものとするが、水深が浅く採水器が使用できない場合はバケツやポリビンで採水する。

採水した試料はそれぞれについて分析する。ただし、水質変化が認められない場合は採水試料を混合して一試料（コンポジット試料）とする方法もある。

2) 算定による排出負荷量の求め方

(1) 原単位法

排出汚濁負荷量を原単位法で算出する場合は流域背後調査結果と排出原単位を掛けて算出する。

表-2・47 合併処理浄化槽からの排出負荷量⁽⁴⁾

調査期間	使用人数	処理水BODの平均濃度(mg/l)				平均値
		K	Y	E	F	
		4	6	4	2	
S. 61, 11		12	19	50	19	25
S. 62, 01		62	64	37	5.3	42.1
S. 62, 05		55	35	41	28	39.8
S. 62, 08		25	3.2	22	11	15.3
S. 63, 01		12	46	87	16	40.3
S. 63, 05		46	39	34	12	32.8
S. 63, 08		25	32	32	16	26.3
各家庭の平均水質		33.9	34.0	43.3	15.3	
各家庭の平均水使用量(m ³ /day)		0.97	1.65	1.86	0.94	
一人当り使用水量(1/人・日)		246	275	465	470	
一人当り排出負荷量(g/人・日)		8.2	9.4	20.1	7.2	

季節別の処理水濃度
 春期(5月)=36.3mg/l
 夏期(8月)=20.8mg/l
 秋期(11月)=25mg/l
 冬期(1月)=41.2mg/l

(排出汚濁負荷量)=(流域背後調査結果)×(排出原単位)

原単位は経年的、地域的に変化しやすいため使用に当たっては注意が必要である。ただし流域背後調査結果が十分に得られ、必要となる原単位も把握されている場合には、流域の排出汚濁負荷量は求めやすい。

注) 発生汚濁原単位は調査例が多いが、処理後の排出原単位の調査例は少ない。排出原単位の参考文献としては、「流域別下水道整備総合計画 指針と解説(建設省都市局下水道 昭和58年12月)」等がある。

各排出源で実測によって得られた排出汚濁負荷量と流域背後調査から得られた資料から排出汚濁原単位を算出する。

この場合、各発生源ごとの調査で得られる排出負荷量を下水道施設あるいは浄化槽では、その使用者人数で除じ、製造業等では平日と日曜、祭日の違い、天候、季節の違いにより変動することに注意する。又、同じ汚水処理方法を採用していても、施設の構造、運転条件によって処理効率が異なるので、同一処理方法について10ヶ所程度の調査が必要になる。例えば、合併浄化槽からの流出BOD濃度を4件について調べた結果を表-2・47(文献⁽⁴⁾より作成)に示す。処理施設は同じ形式であるが、E宅及びF宅の一人当たりの排出負荷量はK、Y宅とほぼ同じ値になっている。一方、E宅は、5人槽施設容量に対して、50%程度の水量的過負荷と

なっており、処理機能が十分に働いていない。また、季節別の処理水質を調べると、水温の高い夏季がBOD濃度は低く、冬季が高い結果となっている。このようなことから、同一処理形態をとっても排出負荷量は異なるので、10ヶ所程度の調査は必要となる。さらに、年間負荷量を算出する場合には、四季を通じて4回実施するか、少なくとも、夏冬又は春秋の2回を実施する必要がある。

(2) 排水報告による方法

水質汚濁防止法により特定施設を有する事業場は排水報告の義務を有するため届け出された数値を利用して排出汚濁負荷量を算出する。ただし、報告された排水の数値は、実測調査と一致しない場合も有り、注意が必要である。

(3) 排水基準による方法

排水基準が定められている業種の排出汚濁負荷量は排水基準値を用いて算出する。しかし、排水基準値を流域の排出汚濁負荷量とするのはかなり大まかな把握になる。

(4) 排出率による方法

発生汚濁負荷量と排出率から排出汚濁負荷量を算出する。この場合、適切な排出率を採用する。

注) 排出率の調査例は少ないが、家庭排水の排出率は調査例があるので参照する。

調査の実測例

表-2・48 モデルケース (BOD負荷量対象)⁽⁷⁾

発生汚濁原単位 (g/日・百万円)	
パルプ工場	3410 (s. 50 環境庁)
酒精工場	1400 (s. 50 環境庁)
化学工場	954 (s. 50 環境庁)
製造品出荷額	
	445億円/年 (s. 61) → 112百万円/日
	336億円/年 (s. 59) → 92百万円/日
	4215億円/年 (s. 60) → 1155百万円/日
原単位法による発生汚濁負荷量	
パルプ工場	416 (kg/日)
酒精工場	129 (kg/日)
化学工場	1102 (kg/日)
水質実測値からの排出汚濁負荷量 (排水報告値による)	
パルプ工場	240 (g/s) → 20736 (kg/日)
酒精工場	2.1 (g/s) → 181 (kg/日)
化学工場	9 (g/s) → 778 (kg/日)

酒精工場及び化学工場排水は原単位法による発生汚濁負荷量と水質報告値からの排出汚濁負荷量が近い値となった。しかし、パルプ工場は排水水質報告値による排出汚濁負荷量が原単位法による発生汚濁負荷量を上回る結果となった。このように、原単位法は排水報告値と異なる場合もあるため、注意が必要である。

2.2.4 河川の汚濁負荷量調査

河川における汚濁負荷量調査は、非感潮河川と感潮河川では水理的特性が異なるので、それぞれの調査方法に適したものをを用いる。

非感潮河川の場合は、一般に順流のみであり、支川からの流入を考慮して調査を実施すれば良いが、流量によって負荷量が大きく変動するので、流量規模の違いによる調査を実施する必要がある。一方、感潮河川では、海水の遡上や逆流などの現象があり、潮位の影響を考慮した調査方法で実施する。

1) 非感潮河川での調査

(1) 流量調査

流量調査を行う場合は、原則として次の方法のいずれかによるものとする。

- ① 流速計測法
- ② 浮子測法
- ③ 超音波測法
- ④ 腹測法

このうち、①～③は流速を測定し、これと水位観測から求めた断面積とから (流速) × (面積) の計算を行って流量を求める方法である。流速計測法は、通常、流量の少ない場合に、浮子測法は流木、ゴミなどの多い洪水時に、超音波測法は、通常、流量の少ない場合にそれぞれ用いられる。

なお、超音波測法は、超音波の伝播速度が流れの方向では増加し、流れと逆方向には減少することを利用して、その差を測定して流速を求めるものである。

④ は堰の水位を求め越流公式から流量を求める方法である。

実際の観測に当たっては、河川砂防技術基準(案)⁽⁴⁰⁾ 調査編、第3章の流量調査に基づき観測を行なう。

参考資料としては、建設省水文研究会著「水文観測」⁽⁴⁹⁾がある。

(2) 採水位置と採水深度

採水にあたってはの横断方向の採水位置あるいは間隔と、深さ方向の採水深度の決め方は、横断方向及び深さ方向の汚濁の濃度分布を考慮して定めるものとし、あらかじめ横断方向及び水深方向の水質分布を調査して決める。

ただし、横断方向及び水深方向の混合が十分に行われている地点については、水面より2割の深度における採水を川幅にもよるが横断方向に数箇所行えば良い。

以下に採水位置及び採水深度についての調査事例を示す。

(事例1) 調査は川幅12m、水深約1mの河川において実施した。調査地点の断面図と採水位置を図-2・27に、水質分析結果を表-2・49に示す。

この調査により、

① 表層、水深20cm層、水深70cm層をそれぞれ1つの集団と考え、水質分析項目SS、BOD、COD、D-TOCについて平均値の差の検定を行った結果、信頼度95%において同じであることが確認された。

② 左岸側、右岸側をそれぞれ1つの集団と考え、水質分析項目SS、BOD、COD、D-TOCについて平均値の差の検定を行った結果、信頼度95%において同じであることが確認された。(建設省土木研究所 河川の総合負荷量収支調査)

左岸又は(及び)右岸の水質が明らかに異なる地点では、左岸側又は(及び)右岸側においても、その代表する位置で採水を行うものとする。

水深が浅く、採水することにより河床の底土を乱すおそれのある場合は、河床の泥土を乱さない深度で採

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

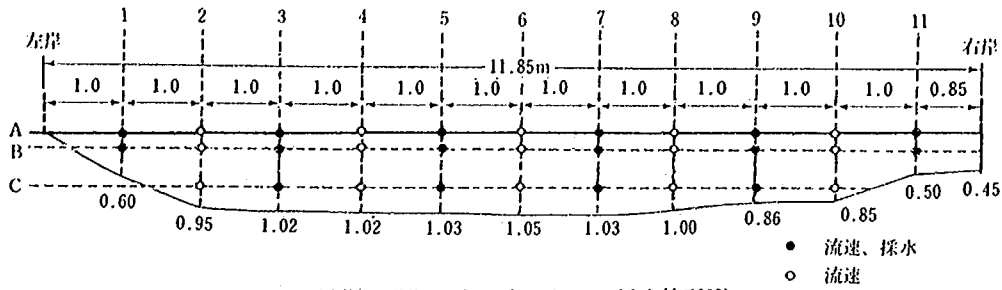


図-2・27 河川の負荷量横断分布調査のための採水箇所⁵⁰⁾

表-2・49 河川横断面での水質分析結果⁵⁰⁾

1-A流速:0.19 BOD:3.6 COD:6.1 TOC:7 SS:12.2	3-A流速:0.23 BOD:3.2 COD:5.5 TOC:7 SS:12.6	5-A流速:0.22 BOD:3.3 COD:5.9 TOC:6.1 SS:12.3	7-A流速:0.21 BOD:3.5 COD:5.7 TOC:5 SS:14.4	9-A流速:0.16 BOD:2.9 COD:5.5 TOC:4 SS:12.6	11-A流速:0.10 BOD:2.9 COD:5.8 TOC:4 SS:11.8
1-B流速:0.15 BOD:3.1 COD:5.7 TOC:6 SS:12.2	3-B流速:0.23 BOD:3.3 COD:5.5 TOC:7 SS:12.2	5-B流速:0.22 BOD:3.2 COD:5.1 TOC:6 SS:12.7	7-B流速:0.19 BOD:3.4 COD:6.3 TOC:5 SS:13.4	9-B流速:0.15 BOD:3.1 COD:5.4 TOC:4 SS:12.4	11-B流速:0.09 BOD:2.9 COD:6.0 TOC:4 SS:12.2
	3-C流速:0.20 BOD:2.9 COD:5.9 TOC:6 SS:11.9	5-C流速:0.22 BOD:3.0 COD:5.2 TOC:5 SS:12.1	7-C流速:0.18 BOD:2.8 COD:5.3 TOC:5 SS:11.6	9-C流速:0.16 BOD:2.8 COD:6.0 TOC:5 SS:12.9	

単位:流速 (m/sec), BOD, COD, TOC, SS (mg/l)

水を行うものとする。また、水深が大きく、かつ上下の混合が十分に行なわれていない場合には水面より2割の深度で採水するほか、8割、又は5割及び8割の深度で採水を行うものとする。

(事例2) 同一地点に於ける流量と濃度の組合せ方により、負荷量がどの様に違うか検討した事例を以下に示す。

調査河川は信濃川中流部で、調査地点は図-2・28に示すとおりである。

流量観測に於ける流速測線の設定は原則として河川砂防技術基準(案)に従ったが、本川No.4, No.5地点及びNo.1, No.3地点の中州より左岸側については水面幅に関係なく9側線とし、水深の2割及び8割としたが、水深0.75m未満の所については6割水深とした。

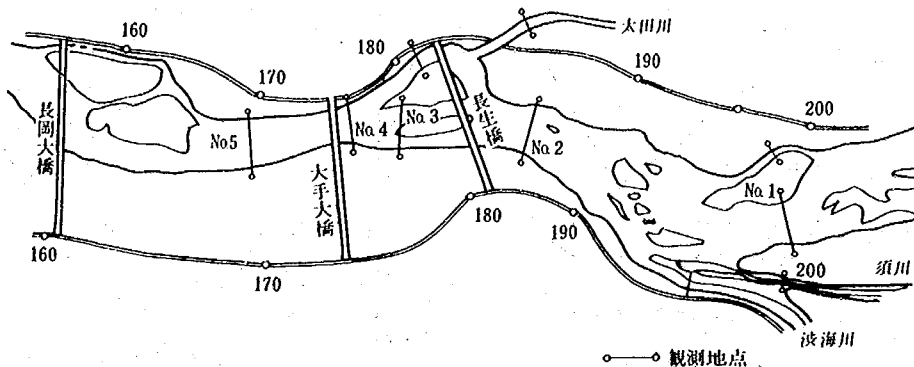


図-2・28 河川汚濁負荷量調査区間(信濃川)⁵¹⁾

採水位置について、本川No. 1～No. 5については各流速測線位置に一致させ全水深の2割、8割としたが、全水深が0.75m未満の場合は2割水深とした。また、流速測線とは別に兩岸より1～2mの死水域でない地点について、2割水深の採水を実施した。

全区間負荷量に対する流心1点法の誤差を表-2・50に示す。なお、ここで全区間負荷量はそれぞれの区間ごとに区間負荷量を求め、それを積算したものであり、流心1点法は流心の2割水深における濃度に全流量を乗じたものである。

表-2・50 全区間負荷量に対する流心1点法の誤差⁵¹⁾

(全区間2割水深での負荷量)

誤 差	項 目
±5%程度	NO ₃ -N, PO ₄ -P
±10%程度	Cl ₁ , NO ₂ -N, T-P, COD (No4地点除く)
±15%程度	TOC, SS, T-N,
±30%程度	BOD, ふん便性大腸菌
±50%程度	大腸菌群数, NH ₄ -N, 有機態窒素

なお、本川のように発電用ダムが上流部に設置されている場合、川幅が広いだけでなく、流量の時間変動も大きいので流量観測に時間をかけるよりも、H～Q曲線による流量測定の方が、精度上良い結果が得られる場合がある。

(事例3) 調査河川は阿武隈川で、本川への主な流入負荷は上流部白河市に立地するパルプ工業地帯の排水、中流部郡山市を中心とする内陸工業地帯の排水および、宮城県内の下流部丸森町の都市排水がある。

阿武隈川での流速、BOD濃度の横断分布調査を逢瀬川(川幅5m, 流量2.4m³/s)合流地点の500m上流、500m下流および1100m下流の3地点で実施した。結果を図-2・29に示した。逢瀬川合流の上流500m地点でのBOD濃度分布は、ほぼ一様で1.5～2.5mg/lの範囲である。

500m下流地点では河積も大きく、相対的に流速は遅い。BOD濃度分布は、左岸の逢瀬川の流入の影響を受けた分布状況になっている。

さらに1100下流では、最大水深が1m以下と浅く、その分流速は早くなっている。BODの濃度分布は左岸側が高いのは維持されているが、かなり右岸側に拡散している。

このようなBOD濃度と流速分布のデータから、各断面の単位時間当りに通過するBODの負荷量(g/m³/s)を計算した結果が図-2・30である。

このように支川等の流入がある地点で、正確な負荷量を求めるには、水深方向および横断方向にかなりの測点をとらなければならない。

(3) 採水及び現場処理

採水には、水深が浅くて採水器が使用できない場合

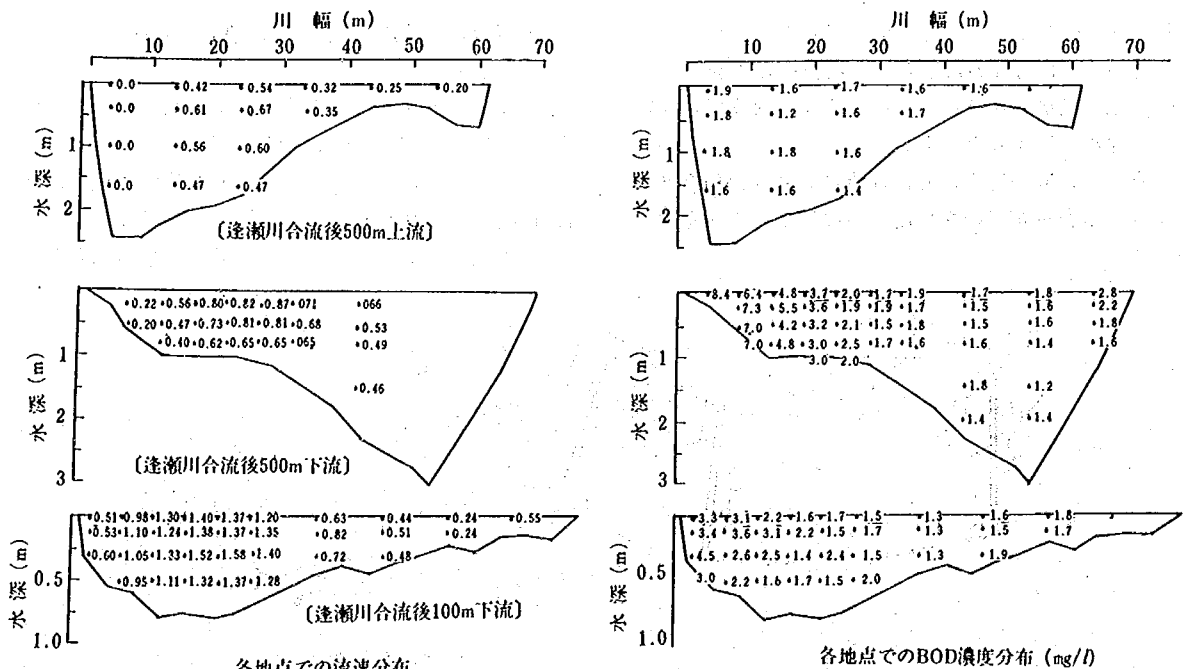


図-2・29 横流入がある河川の流速と濃度の分布⁵²⁾

や、表面で採取する場合を除いて採水器を用いるのを原則とする。

水質分析の検体数を減らすために、混合試料を作成して分析することがある。この場合には、流量比例によって混合試料を作成するのを原則とし、時間方向の混合試料を作成する時には個々の試料を採取した時刻の流量比によって、また、河川などにおいて横断面平均の混合試料を作成する時には、区分流量比によってそれぞれ作成する。ただし、停滞水域などで流量比がとれない場合にはこの限りでない。

混合試料によってはならない水質項目には、pH、DO、大腸菌群数、一般細菌数、*n*-ヘキサン抽出物質などがある。なお、混合試料の作成は現場で行なうよりも、個々試料を保存して持ち帰り、分析室で行なうほうが望ましい。

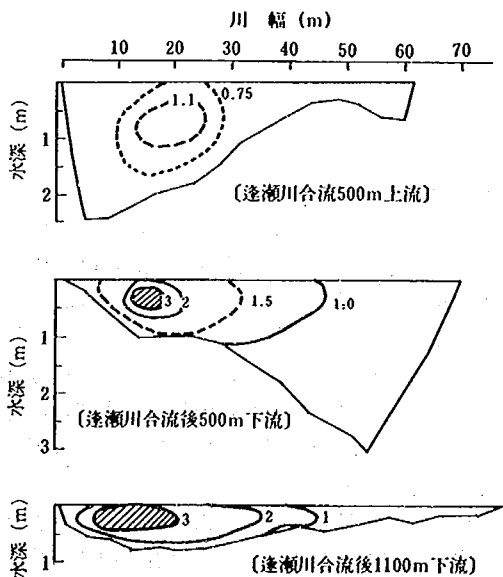


図-2・30 BOD通過量分布 ($\text{g}/\text{m}^3/\text{sec}$)⁵²⁾

(4) 洪水時の汚濁負荷量調査

洪水時の流出負荷量は、短時間に流下するが、年間の総流出負荷量に占める割合は大きい。このため、年間の総流出負荷量を把握するためには、洪水時の河川汚濁負荷量調査が必要である。

洪水時の負荷量の流出は、雨の降り始めに側溝等に堆積している汚濁物質を運び出すことにより高濃度の水が流出することが推測される。また、流域面積等が大きい場合には、降雨終了後も流量が平常に戻るまでかなりの時間を要するため、一回の降雨調査に要する時間も長時間に及ぶことが考えられる。したがって、調査計画を綿密に立てておく必要がある。

イ. 調査地点

調査地点は、低水、平水時の調査地点で行うのが望ましいが、洪水時には、流量観測に浮子測法を取らざるを得ない場合が多いこと、危険を伴うこと等から、調査地点の変更や削減を行うことも止むを得ない。この場合でも

- ① 汚濁の状態が総合的に把握できる地点であること
- ② 既往水文、水質資料が整備されている地点であること
- ③ 現場観測の容易な地点であること

現場観測の面からは、観測の容易性、観測精度向上のため、

- ・河床状況が直線近く、
- ・断面が整っており、
- ・観測（浮子投入、採水）を行なう橋梁がある地点とするのが望ましい。

ロ. 調査回数

洪水時の負荷量流出パターンを把握するため、できるだけ多くの回数を実施することが望ましいが、少なくとも2～3洪水については行なうものとする。

ハ. 観測開始時点、観測間隔

① 対象河川の流出特性にもよるが、観測開始時点は水位の上がり始める時点とし、観測間隔は水位上昇部では等間隔で5回程度の採水を行なうようにし、水位低減部では、水位の変化に応じて徐々に長くしていくのが良い。

② 出水時の水位、水質の時系列資料があれば、それらの時間変化パターンより、観測開始時点、観測間隔を定めるのが良い。

なお、流域や水路、河床に堆積している汚濁負荷は、前回の出水からの経過時間や前回出水の規模によって異なるので、データを取り扱う時には注意が必要である。

出水時の観測は、時間を失すれば有効な観測値が得られないため気象情報、降雨状況に注意し、出水が予測される時には、観測員の配置、待機を図り、いつでも観測が開始できるよう準備しておく必要がある。

図-2・31に洪水時の負荷量時系列変化状況例（重信川、出合地点）を示す。

流量観測は、河川砂防技術基準(案)⁴⁸⁾第3章第6節浮子測法に準じて行なうものとする。

参考資料として建設省水文研究会「水文観測」⁴⁹⁾も参照のこと。

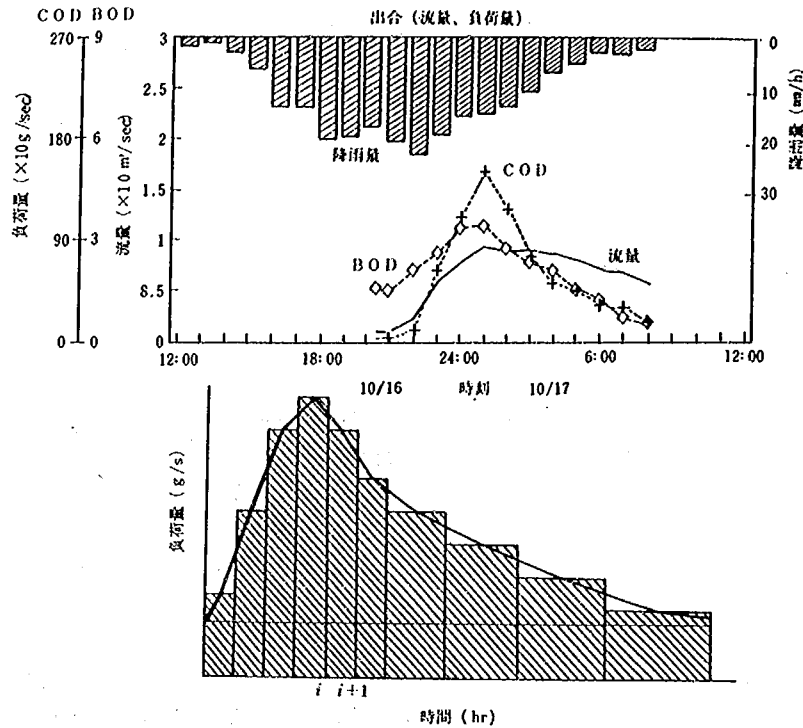


図-2・31 流量、水質及び負荷量の時系列変化⁵³⁾

二. 採 水

採水位置は流心とする。上流に支川が流入している場合など、左岸側又は（及び）右岸側の水質が流心と異なる場合は、左岸側又は（及び）右岸側についても採水を行う必要がある。左岸側又は（及び）右岸側で採水を行なう場合には、流心と左岸又は右岸の河岸との間の横断面で、その流水断面積がほぼ等しくなる位置を左岸又は右岸の採水位置とする。

採水深は水面から水深の2割の深度で行うのが望ましいが、洪水時は流速が大きく、水中からの採水が困難なため、表面付近としてもよい。

ホ. 負荷量の算出

洪水時の負荷量は、流量と水質濃度から求めるが、算出方法としては、時間間隔とその間の平均排出負荷量から、1出水に対する総負荷量として求める。

$$\text{総負荷量} = \sum \left\{ \frac{S_i \cdot Q_i + S_{i+1} \cdot Q_{i+1}}{2} \times (T_{i+1} - T_i) \right\}$$

ただし S_i , Q_i : i 番目の水質濃度と流量

S_{i+1} , Q_{i+1} : $(i+1)$ 番目の水質濃度と流量

$(T_{i+1} - T_i)$: i 番目と $(i+1)$ 番目の時間間隔

(5) 年間流出負荷量の算定

すでに述べたように、河川における流出負荷量は、定常時（晴天日）に比べ洪水等の出水時に流出する量の方が極めて大きいことが明らかになっている。

年間流出負荷量の算定に当っては、定常時（晴天日）と出水時に調査した流量 Q と水質 C の実測値から、図-2・32の年間流出負荷量の算定モデルを用いて算定する。

なお、負荷量と流量との相関を指数関数または直線回帰式で予測する場合、両者の相関が良く認めらる方を用いる必要がある。

負荷量を推定するには、図-2・33に示すように指数関数での予測式を用いるのが一般的である。

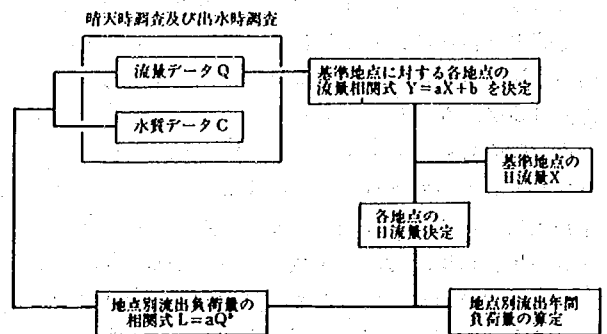


図-2・32 地点別流出負荷量の算定モデル

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

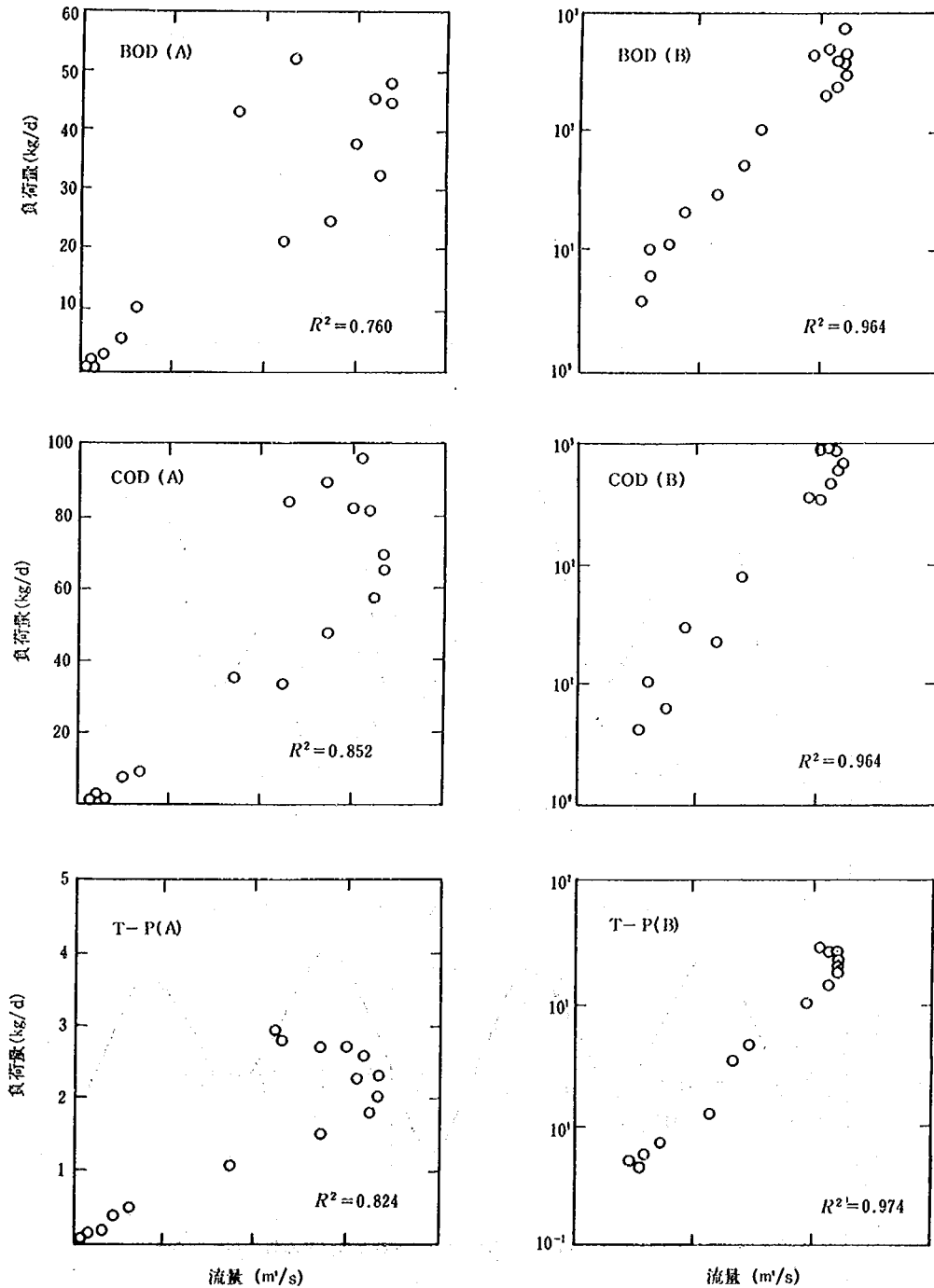


図-2・33 流量と負荷量との相関図

2) 感潮河川での調査

感潮河川の流出パターンを把握するため過去の流況(近年10ヶ年)を参考に平水流量及び低水流量を想定する。さらに対象河川の河川水と海水の混合状態や干潮区間の変動を考慮し、大潮時あるいは小潮時(表-2・51

参照)の水質と流量の測定を行なう。なお、河口が湾奥部に位置する河川で、水位変動が極端に大きく、流向の逆転、底泥の巻き上げが河川水質に及ぼす影響が大きい場合は、河川の負荷量を把握するといった見地からは、大潮時の調査はあまり意味がなく、小潮時の

みを調査する。

(1) 調査地点

① 調査地点の決め方は、非感潮河川の調査に準じて行なうのを原則として河口付近から感潮部の上流端までの区間で3点以上とする。なお必要に応じて海域で河川水の影響を受けると思われる地点にも調査地点を設けるものとする。

② 調査しようとする区間で支川等の影響を受ける地点については本川との合流部（本川の背水の影響がない地点）に調査地点を設け、流達負荷量を調査する。

③ 淡水と海水の混合状態の観測は前もって予備調査を行ない、調査しようとする区間の淡水と海水との

混合状態及び塩分遡上の上流端の把握を行っておくこと。また予備調査の結果から調査地点を定め、本調査は予備調査とほぼ相似の潮汐の時、つまり、潮位差・河川流量等の水理的条件が同じ様な時期に行なうこと。

普通、潮汐とは上下方向の海水の昇降を意味し、海面が一番高くなった時を満潮、その反対を干潮という。相続く満潮と干潮の高さの差を潮位差といい、それは毎日変化している。また、大潮のときの潮位差の平均を大潮差、小潮のときのそれを小潮差と呼んでいる。

日本では、有明海が最も潮位差が大きく、瀬戸内海の西部と中央部がこれに次いでいる。日本海では潮位差は著しく小さい。図-2・34に潮位（水位）変化の例を

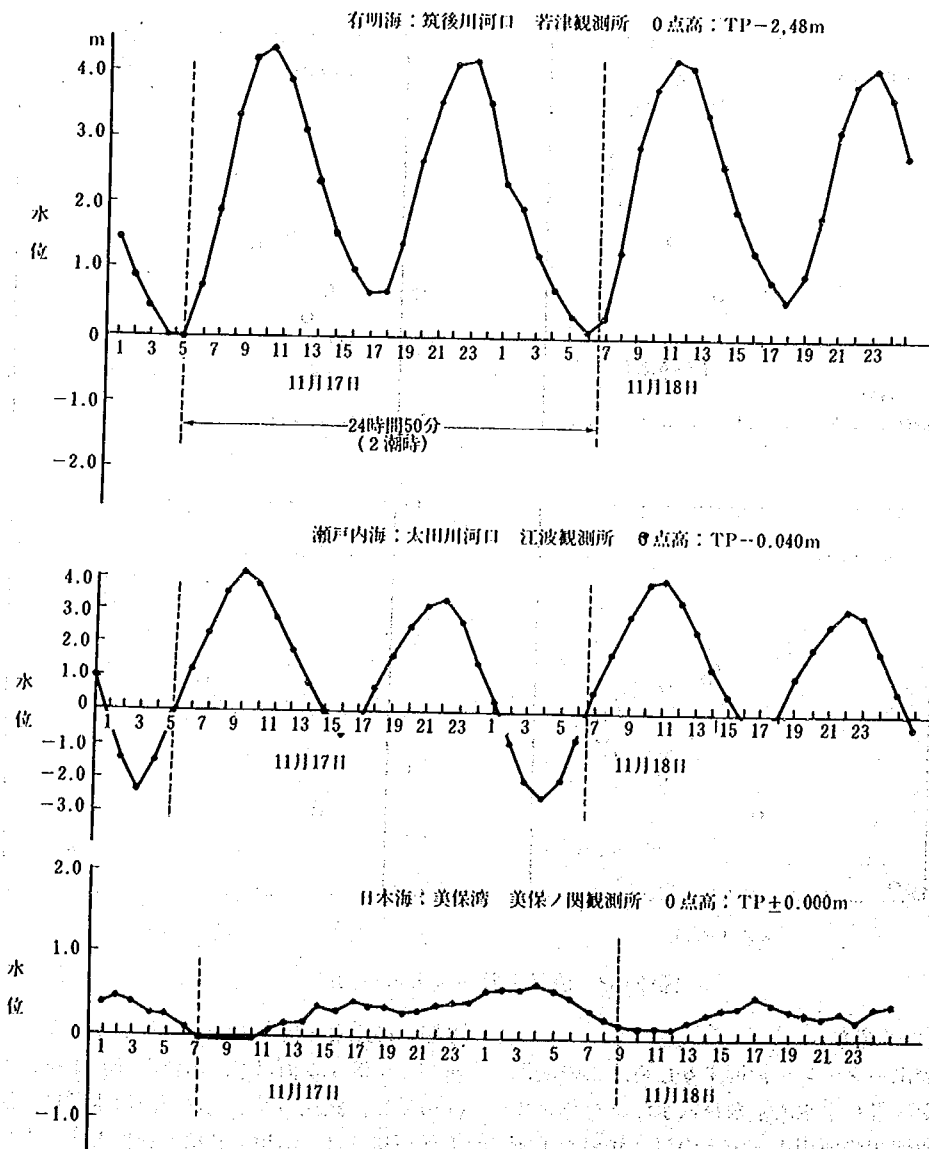


図-2・34 潮位（水位）変化図例 (S. 61, 11. 17~11. 18) ⁵³⁾

表-2・51 日本各地の潮汐定数(例)⁵⁴⁾

地 名	平均高潮間隙	大潮差	小潮差	地 名	平均高潮間隙	大潮差	小潮差
オホーツク海				日 本 海			
	h m	m	m		h m	m	m
枝幸*	3 07	0.5	0.2	北海道			
紋別*	3 04	0.5	0.2	稚内*	3 58	0.1	0.0
網走*	3 13	0.5	0.2	小樽*	4 05	0.1	0.0
太平洋				本州			
北海道				秋田	3 11	0.2	0.1
釧路	3 45	0.8	0.3	新潟	3 03	0.2	0.1
苫小牧	3 38	0.9	0.3	高岡(伏木)	2 52	0.2	0.1
室蘭	3 35	1.0	0.4	敦賀	2 26	0.2	0.1
函館	3 57	0.7	0.3	舞鶴(東港)	2 31	0.2	0.1
本州東岸				境	2 23	0.1	0.0
八戸	3 39	0.9	0.3	浜田	12 12	0.2	0.1
宮古	3 45	0.8	0.3	瀬戸内海			
釜石	3 53	0.9	0.3	大阪	7 24	1.0	0.3
塩釜	4 04	1.0	0.4	神戸	7 25	1.0	0.3
小名浜	4 23	0.9	0.3	姫路(飾磨)	10 53	0.8	0.4
鹿島	4 23	0.9	0.3	高松	11 19	1.7	0.9
大吹崎	4 25	0.9	0.4	坂出	11 20	2.4	1.2
勝浦	4 49	1.0	0.4	水島	11 18	2.7	1.3
本州南岸				尾道	11 03	2.9	1.3
千葉	5 16	1.5	0.5	広島	9 36	2.9	1.2
東京(芝浦)	5 22	1.5	0.5	松山	9 14	2.8	1.2
横浜(新山下)	5 18	1.4	0.5	徳山	8 42	2.5	1.0
浦賀	5 16	1.1	0.4	門司(北九州)	9 02	2.0	0.8
下田	5 27	1.2	0.4	対馬海峡			
清水	5 44	1.2	0.4	若松(北九州)	9 50	1.1	0.4
名古屋	6 11	1.9	0.7	博多	9 40	1.6	0.6
四日市	6 9	1.9	0.7	厳原	8 42	1.6	0.6
鳥羽	6 11	1.6	0.6	東シナ海			
串本	6 3	1.3	0.5	佐世保	8 18	2.5	0.9
和歌山	6 26	1.4	0.5	長崎	7 54	2.4	0.9
伊豆諸島				住ノ江(佐賀*)	9 13	4.9	1.9
八丈島(神湊)	5 29	0.9	0.3	三池(大牟田)	8 56	4.5	1.7
四国				三角	8 44	3.5	1.5
高知	6 01	1.4	0.6	八代	8 43	3.2	1.3
宇和島	7 13	1.6	0.7	水俣	8 42	2.9	1.2
九州				阿久根	7 37	2.3	0.9
日向(細島)	6 06	1.4	0.6	鹿児島	7 05	2.2	0.9
油津	6 03	1.5	0.6				
南西諸島							
名瀬	6 50	1.6	0.6				
那覇	6 49	1.6	0.7				
石垣	6 44	1.3	0.5				

平均高潮間隙とは月が子午線を経過してから高潮(満潮)となるまでの平均で、大潮差および小潮差とは各々大潮及び小潮のとき高潮(満潮)と低潮(干潮)との高さの差の平均値である。*印をつけた土地は毎日の不等が大きく1日に1回の高潮と1回の低潮とのみを生ずる日が多いことを示す。

出典：理科年表

示す。ちなみに、日本各地の潮汐定数（大潮，小潮差等）は表-2・51の通りである。なお，河口部の海水と河川水の混合形態を大きく分けると図-2・35のような混合型になる。潮位差の大きい感潮部では潮汐による河川内の乱れが大きく完全混合型になる場合が多く，反対に潮位差の小さい河川の河口あるいは河川流量が小さい河川では，二層流型となる場合が多いといわれている。しかし，実際には同じ地点でも時間の経過と共に，図-2・36の例にみられるように変化している。これは潮位差だけでなく，海水（河口部の水）の塩分濃度

の状況，河川流量等を反映した結果として現れる。

（2） 調査頻度

各調査地点では2潮時にわたり1～2時間間隔で採水及び水位，流速，流向，塩分等を現地で測定を行うことを原則とする。ただし，海域部を調査地点としている場合，夜間の調査が危険な時は昼間の1潮時において数回の採水及び現地観測を行なうのみで差支えない。海面の上昇，下降は一般に約12時間25分の周期で生じ，この周期を1潮時といい概ね1日に2回の周期（約24時間50分）があり，これを2潮時といっている。

また，感潮の有無にかかわらず，汚濁の進行した支川の場合，本川に比べて水質が変動しやすく状況に応じて調査頻度を密にすることが望ましい（図-2・37）。

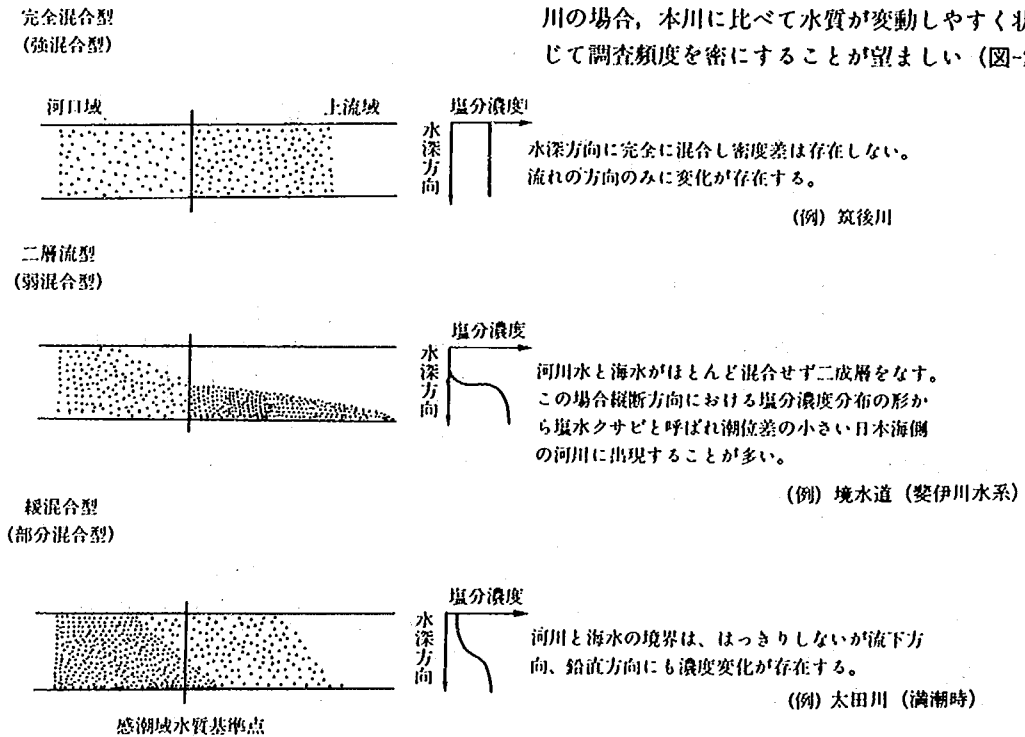


図-2・35 河口域における海水と河川水の混合⁵³⁾

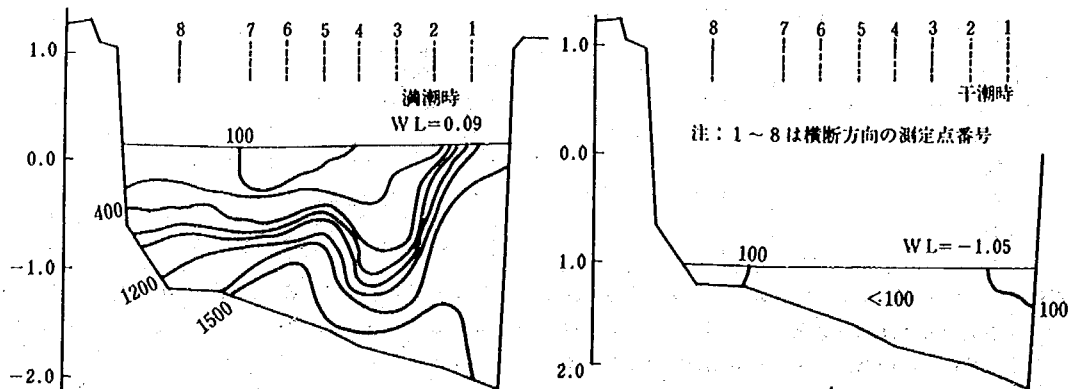


図-2・36 感潮区間における導電率の横断分布例⁵³⁾

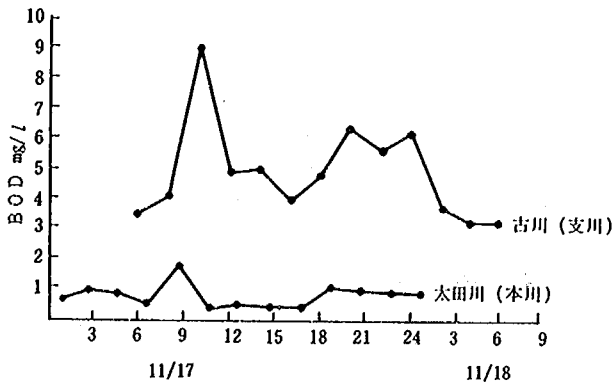


図-2-37 太田川(本川)と古川(支川)の水質の経時変化例(S. 61, 11, 17~18)⁵³⁾

(3) 採水位置及び深度

採水は流心で行なうほか左岸及び右岸の水質が明らかに異なる調査地点では横断方向に5点以上採水するものとする。また、水深方向では海水と淡水の混合状態を考慮して少なくとも3深度あるいは1mピッチで行なう。なお、前もって予備調査を行なって横断面における流速の分布状況、支川の流入等を参考に採水位置、深度等は決めておく必要がある。

(4) 流量観測

① 流量調査は河川砂防技術基準(案)⁴⁸⁾第3章5節の流速計法、水文観測4章10節の河口感潮部における流量観測に準じるが、水位、流速の時間変化があるので、できるだけ手早く行なう。また流量測定も採水と同様測定点を考慮する。

流量観測時には水深、流向、流速、水温、導電率(塩分)の測定を行なうこと。

潮流が上流に向かっていくときを上げ潮という。反対に下流に向かっていくとき引き潮といい、一般に上流から河口に近づくに従って上げ潮のほうが、引き潮よりも流速が速い場合が多い。このため、満潮、干潮などの潮汐をよく考慮した観測計画をたてる必要がある。

② 流速計は測定位置の水深の範囲を考慮して適用範囲を選定することと流向の測れる型式のものを用いる必要がある。

2.2.5 浄化特性調査

河川に流入した汚濁負荷量が、河道内の輸送過程で物理的及び生物・化学的におこる水質変化(減少及び供給)の挙動を把握するために次の調査を実施するものである。

1) 自浄作用 2) 内部生産

1) 自浄作用

自浄作用は、汚濁水をもとの清浄な水に戻すすべての浄化機能と定義され、主として以下の二つの機構によって行われる。

- ① 沈澱と河床堆積物の形成
- ② 付着性及び自由浮遊性生物の食物源として消費(減少)され無機化される。

BODとして測定される有機物を考えた場合、有機物に対する自浄作用は概ね微生物のレベルで行われ、バクテリア、真菌類、ペン毛藻類など他栄養性微生物の働きが主体となる。

なお、揮発性物質を取り扱う場合には、揮散の機構を考慮しなければならないが、希釈、拡散については、汚濁物質を濃度で表示する場合には考慮するが、絶対量で表示する場合には考慮する必要はない。

このような自浄作用を考慮して、BODの減少をStreeter Phelpsの式で表すと次のようになる。

$$\frac{\partial L}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} - U \frac{\partial L}{\partial x} - (K_1 + K_3) L + L_a \quad (2.5)$$

ここで L ; 最終BOD (= UOD)

D_x ; 流下方向の拡散係数

U ; 平均流速

K_1 ; 脱酸素係数

K_3 ; 沈澱によるBOD減少係数

L_a ; 河床からのBOD溶出速度

x ; 流下方向の距離

実際河川で実測できるBOD減少係数(K_r)は、上記の沈澱(K_3)、分解(K_1)あるいは河床からの溶出などの現象をすべて含んだ結果と理解すべきである。

自浄作用調査を実施する場合は、上式から理解されるように河川の特徴でもある U 、 D_x をはじめ L 、 K_1 、 K_3 、 L_a 等の値を明らかにすることでもある。

(1) 調査区間の選定

調査区間の選定にあたっては、次の要件を考慮する。

1. 上流端及び下流端とも流量観測資料が得られる地点であること。
2. 河床勾配が大きく変動しない区間であること。
3. 支川や大きな排水路の流入がないこと。
4. 区間延長は2 km以上であること。
5. BODについては概ね3 mg/l以上であること。

ただし、このような区間をある一定区間で設定することが望ましい。

特に、区間途中で流出入する支川や大きな排水路がある場合は、負荷量・流量収支を明確にしておくことが大切であり、また河床状態によって、測定値に大き

く影響する場合があるので河床状態についても十分調査することも必要である。

(2) 調査の時期

調査に当たっては、流量の比較的安定している平水時、低水時及び濁水時に実施するものとする。

流量の多い時期は、水質が希釈されてBOD等の測定などに誤差を生じやすく、また河床堆積物が洗掘されて水質が逆に悪化している場合がある。降雨直後の流量が不安定な状況で調査するのも同様の理由から好ましくない。

また、BODについては水温にも影響されるので、夏季・冬季に、それぞれ測定することも必要である。

(3) 現地調査の内容

流下時間、支川・排水路からの流出入量及びその水質、本川各測定地点における流量及び水質を測定する。

また、現況（河床状態等）を把握するための事前調査も必要に応じて実施するものとする。

流量の測定に当たっては、流速計を用いて平均流速を算定し、これに断面積を乗じて求めるのが一般的であるが、現地条件によっては測定できない場合もある。そのような時は、比較的容易に行うことができる下記

の方法がある。

① フロートによる方法

一定の距離 (L) (例えば50~100m) の間をフロートを流し、その流下に要した時間 (t) を計って、流速 (V) = (L) / (t) を求める。

(事例1, 2) 東北地方建設局及び中部地方建設局が種々の表面浮子を用いて流下時間の比較検討した結果を表-2・52及び2・53に示す。

これらの結果によれば、種々の表面浮子の実測値と計算値による流下時間との差異はほとんど見られなかったが、木片については、風の影響を受けて観測不能となった。このことから、みかん等のある程度の重さをもち吃水しながら流下するものであれば、実際の流速に近い値を得ることができるとと思われるが、木片やプラスチック等の吃水をもたない軽いものは使用しない方がよい。

(4) 各測定地点での測定回数及び採水時間

調査区間の流下時間を測定し、測定地点における測定時刻をセットする。この時間を基準にしてその時間の前後をはさんで数回の流量観測及び採水の現地測定を行なうものとする。

表-2・52 表面浮子による流下時間の測定⁵⁵⁾

地点名	距離 m	実 測 値				参 考 計算値
		表面浮子	みかん	木 片	流速計	
暮 内 橋	0	—	—	—	—	—
咲 田 橋	450	16	19	—	17	17
鉄橋下流	1445	58	56	—	68	54
下 流 端	1370	42	46	—	51	50
合 計	—	116	121	—	136	121

注) 表面浮子……電灯式浮子 ($l=12.0\text{cm}$, 吃水部=7.0cm)

みかん ……径6.5cm程度

木片 ……縦8.0cm×横3.5cm程度

流速計 ……ブライス式流速計で各地点の流速を測り、その流速を次の地点まで同じと仮定して算出

計算値 ……マンニングの等流計算による値、 N は0.030とした。

表2・53 流下35mに要する時間(sec)と平均流速(m/sec)⁵⁶⁾

回 数	ソフトボール $\phi=8.5\text{cm}$	軟式ボール $\phi=7.0\text{cm}$	りんご $\phi=9.0\text{cm}$	グレープフルーツ $\phi=10\text{cm}$	電気浮き
1	111.5	104.4	111.3	102.6	110.7
2	119.0	106.2	111.8	110.0	109.4
3	111.7	108.6	105.5	105.0	107.4
4	111.1	111.5	104.8	104.1	101.2
平均	113.3	107.7	108.4	105.4	107.2
平均流速	0.31	0.32	0.32	0.33	0.33

備考：流速計による計測結果は、0.31 m/secであった。

これは、流入負荷量の時間変化、流下時間の誤差などを考えてのことである。

(5) 採水位置及び水深

採水位置は原則として流心で行なうが、上流に支川や排水路が流入している場合は、左右岸で水質が異なる可能性があり、等間隔のいくつかの断面に分割してそれぞれの中心部で採水し、水質分析を行い、その結果から代表地点を定めること。

また、水深は原則として水面から全水深の2割の深度で行うが、浅いときは、河床の底泥土を乱すことも考えられるので、このような場合は表面水を採水し、深いときは上下の混合を確認のうえ、5割及び8割の深度で採水するものとする。

(6) 調査測定項目

次の項目について、調査測定及び計算により算出するものとする。

①脱酸素係数 ②BOD等減少係数

③再曝気係数

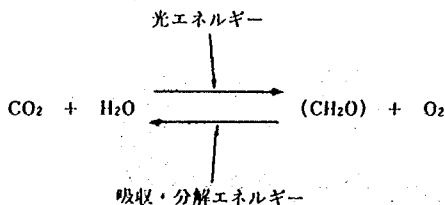
以下に調査方法を述べる。

① 脱酸素係数

脱酸素係数はBODによる酸素消費の速度係数であって、原則として、BOD試験方法に準じた方法で1日間・・・7日間(原則)の酸素消費量を測定して求める。試験に当たっては精度を上げるために、同一試料について、2～3検体実施し、その平均値を用いて計算を行なう。

2) 内部生産

生物の生存は、主に植物が光合成によって生産した有機物によって維持されている。このように光合成生産は、生態系内の物質生産の第一段階であることから一時生産と呼ばれ、これが水中でも起こることから内部生産と呼ばれている。内部生産には、エネルギー源としての光と、栄養塩としての各種元素類の両者が不可欠である。光合成は次のような式で表すことが出来る。



生態系において、この式の反応を右側に進めるのが光合成生産、左側に進めるのが呼吸・分解で生命維持に使われる。

一定時間内(1日、1週間、1ヶ月、1年等)に生産される有機物の総量を総生産と呼び、通常単位面積(m^2 , km^2)あるいは単位体積(l , m^3)の水中で生産される有機物の総量で表わす。光合成によって生産された有機物の一部は、生物自身の呼吸によって消費される。

総生産から呼吸による消費を差し引いた残りを純生産と呼び、総生産は、常に正の値であるが、純生産は正、0又は負になることもある。

内部生産調査は光合成によって生産した有機物の生態を把握するものである。

(1) 対象区間及び調査位置

流速のある河川においては、日射によって生産された有機物も分解や移行を繰り返し、流下中に自然に減少していくのが一般的である。

河川において起こる自浄作用は極めて複雑なプロセスを経て光合成を始めとする諸因子が相互に関連しており、この中から光合成による影響部分のみを計量化することは非常に困難である。

したがって、河川で本調査を実施する場合は、緩やかな流速の区間を対象とした方がよい。

調査位置は日射が届く範囲、一般的に河川の中央部とし、採水深度は測定方法により異なるので、事前に測定方法を決定しておくことが必要である。

(2) 測定方法

測定法を大別すると直接法と間接法の二つがある。

① 直接法

光合成の式に関連している CO_2 、 (CH_2O) 、 O_2 等の個々の物質の収支を実測するもので、一定時間内に光合成によって、

1) 同化された物質質量(CO_2 など)

2) 生産された物質質量((CH_2O) 、 O_2)を測定により求める方法である。

直接法で CO_2 、 (CH_2O) 、 O_2 を測定するには、各水深毎に採水した試料を調査現場の調査水深毎に放置する現場法と、川岸等で減光フィルターを使用し、太陽光を採水深度と同じ強さに調節する疑似現場法、などがある。

河川の場合は、流速や水深等現場条件の困難さから、疑似現場法を原則とする。

O_2 を測定するためには、各層から採水した試料を6本又は12本の酸素瓶(100～300ml)に採取し、次の①、②、③の操作を行なう。

- ① 2本は直ちにDOの固定(酸素量の測定)
- ② 2本は黒布で包み密栓(暗瓶)
- ③ 2本はそのまま密栓(明瓶)

又、 ^{13}C 法で (CH_2O) 、 O_2 を測定する場合は、明暗瓶に $\text{NaH}^{13}\text{CO}_3$ 水溶液をCが試料の全炭素量の約10%になるよう添加して川岸に吊るし、各水深毎の光の強さとなるよう減光フィルターを使用し、一定時間放置する。

O_2 法及び ^{13}C 法の試験及び計算式については省略する。

② 間接法

一次生産量そのものを実測するのではなく、河川内に生息する生物の一次生産量は、すべて流水中のある特定の水質項目に反映するとして、生産に関係する一つ又は複数項目を実測し、それをもとにして経験式などを利用して一次生産量を推定する方法である。

a. 水質の時系列データから一次生産量を推定する方法

b. クロロフィル法

c. ソロキン法

a. 以外は測定方法が複雑であり、河川には適用しにくい部分が多いので省略する。ここでは、a. の水質の時系列データから一次生産量を推定する方法について述べる。本法は、土木研究所水質研究室において、河川内に生息する生物の一次生産量は、すべて流水中のある特定の水質項目に反映するとして、溶存酸素の収支モデルを用い、大型模型水路の時系列データから一次生産を推定するとともにこの定量方法の精度を検討したものである⁵⁷⁾

a-1. 大型模型水路実験施設 (図-2・38)

全長290mで、深さ0.5m、河床幅0.5m、側壁上端部の幅1.5mの台形断面を有し、操作棟内のタンクから傾斜1/1000の水路を所定の濃度、流量を自然流下させる。

a-2. 実験条件

水路の運転は、60年8月1日より開始し、十分に付着生物が生息したのを肉眼で確認した後に、24時間の連続調査を8月26日10時から翌朝10時まで行なった。

表-2・54 実験条件

条件項目		条件値
平均深度(m)		0.20
平均速度(m/s)		0.57
流水接触面積(m^2)		320.40
水路容積(m^3)		44.75
上水供給量(m^3/h)		2.88
水路滞留時間(h)		15.54
再曝気係数($1/\text{h}$)		1.05
混合	$\text{KNO}_3(\text{mgN}/\text{l})$	20.0
栄養物	$\text{K}_2\text{HPO}_4(\text{mgP}/\text{l})$	2.0

a-3. 実験結果

流入水中のDOと水温及び供給水のDOと水温の測定結果を図-2・39に示す。流水のDOの大きな日変化は、活発な生物活動を反映しているものと思われる。

付着生物は、理化学分析、生物種の同定、定量を行なったが、付着生物量は各分析項目とも増加しており、付着生物群の活発な代謝活動を裏付けている。生物種は、単純な実験系のためか種類数が少ない上に、総細胞数に占める藍藻類の*Homoeo thrix Janthina*の割合が非常に高かった、なお、付着板上の生物の生育状況は、水路河床と側壁とでは、差はなかった。

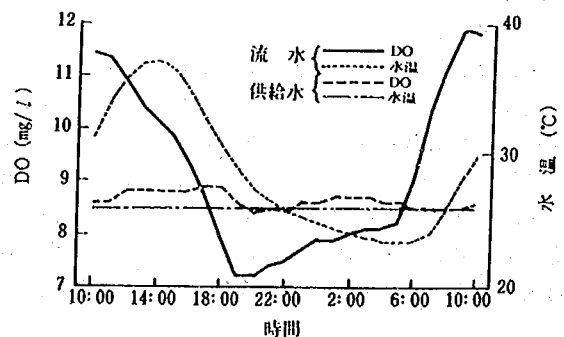


図-2・39 DOと水温の測定結果

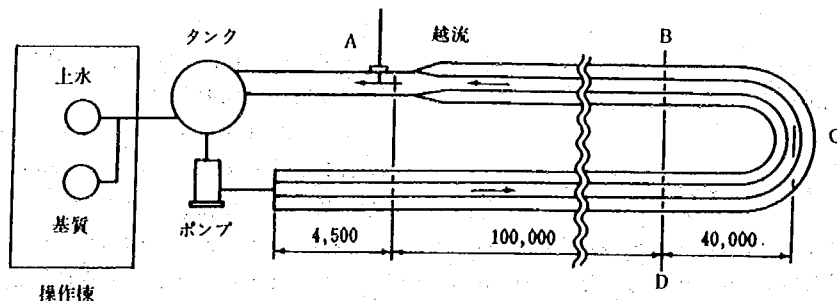


図-2・38 大型還流水路実験装置

a-4. DO, 水温の時系列データからの計算値

流水の自由表面における酸素移動と生物群集の生産、呼吸活動に伴う酸素収支及び上水供給による水の交換を考えた模型水路水中のDO変動を下記の式により計算し、結果を図-2・40に示す。

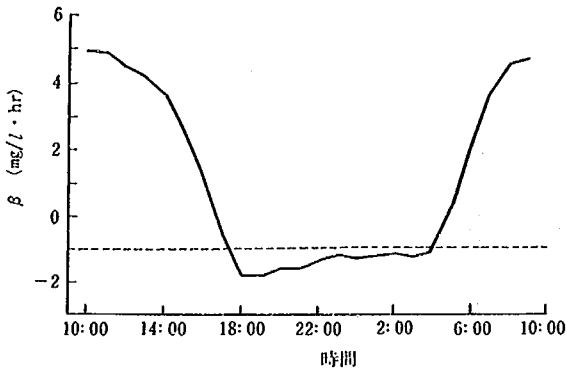


図-2・40 一次生産量の変化

一次生産量は次式のように定義される。

一次生産量＝総生産量－呼吸量－有機物の分解量
この値が正になるということは、付着性藻類の光合成活動が活発になり、水路内に生息する生物全体の呼吸速度と有機物の分解速度を上回ることを意味している。

$$\frac{dC}{dt} = K_{20} \cdot \theta^{t-20} (C_s - C) + \frac{1}{T} (C_{in} - C) + \beta \dots (1) \quad (2.6)$$

C: 流水DO (mg/l)

C_s: 飽和DO (mg/l)

C_{in}: 供給水DO (mg/l)

β: 一次生産量 (mg/l)

K₁₀: 20℃の水路再曝気係数 (h⁻¹)

t: 水温 (℃)

θ: 温度係数=1.024

T: 水路滞留時間 (h)

(2.6) 式の左辺を差分近似し、次式のように展開した後、DO, 水温の時系列データから各時刻の一次生産量を求めた。

$$\beta(n) = \frac{C(n+1) - C(n)}{\Delta t} - K_{20} \cdot \theta^{t-20} \cdot \left(C_s(n) - \frac{C(n+1) + C(n)}{2} \right) - \frac{1}{T} \left(C_{in}(n) - \frac{C(n+1) + C(n)}{2} \right) \quad (2.7)$$

Δt: 測定間隔 (Δt=1.0h)

光合成活動の盛んな昼間には正、光合成の停止する夜間には負の値が得られた。日平均の一次生産量は1.99 (mg/l·h) で水路全体では、総生産量が呼吸量及び分解量を上回る結果となった。

(3) 実測値より求めた値

流水中の浮遊微生物の作用及びアンモニアの硝化に伴うDO消費を無視し、流水中及び川岸床に付着するTODをCODと等しいと仮定することにより、実測値のCODを用い、川岸床から流水への輸送量を求めることができる。さらに、CODの日変化量から日平均一次生産量を求めると、1.80 (mg/l·h) となった。

(4) 収支モデル式の妥当性

実測値より求めた値とDOの時系列データより計算で求めた値を表-2・55に示す。実測値と計算値の差は、約11%で概ね一致していると考えられ、DOの時系列データとDO収支モデルによって、一次生産量を推定することは妥当であると結論づけることができた。

表-2・55 実測値と計算値の比較

	実測値	計算値
一次生産量	1.80	1.99
差	$\frac{\text{実測値} - \text{計算値}}{\text{計算値}} = 10.6\%$	

2. 2. 6 底質調査

河川の持つ自浄作用には、有機物の分解、移流・拡散、沈殿などがある。河川水中に存在する有機性汚濁物質はこれらの作用を受けて、微生物汚泥や無機物質が形成され、流れの比較的遅い河道部分や停滞水域に沈降・堆積する。

堆積した底質の成分は、底泥に接する河川水質に影響され、河川水中の有機物量が河川の持つ自浄能力以下であれば、分解された無機物質主体の底質となり、自浄能力以上の存在であれば、未分解の有機物質を多量に含む底質となる。

このような有機物質を多量に含む底泥を、一般にヘドロと呼んでおり、河川からの酸素供給速度が底泥の酸素消費速度より小さい場合、底泥は嫌気状態となり、黒色を呈する。このような未分解の有機物質を多量に含むヘドロが河床に存在すると、たとえ河川の流入負荷量を削減するような水質浄化を実施しても、予測したような水質が得られない場合がある。これは、堆積したヘドロから新たな汚濁物質が河川に溶出し、付加されるからである。

このようなことから、最近の河川、湖沼などにおける現況水質及び水質改善計画等の調査においては、底質（ヘドロ）の堆積状態、底質の汚濁レベル、底泥からの汚濁物質の溶出速度などを行うようになってきている。

1) 底泥（ヘドロ）堆積量調査方法

① ボーリング調査

ボーリングによる堆積量の調査は、台船（約5×5m程度）にヤグラを組み、写真のように底質試料を採取できるような構造を持つ鉄製の円筒を底層に貫入させて行う。

a. の場合は、塩化ビニール製の円筒の回りを二つに割った鉄製の円筒（ボルト締め）で覆い、採取後に、塩化ビニール製円筒の内容物をピストンで押し出す。

b. の場合は、サンプリング用ウィンドーを持つ二重構造の鉄製円筒を底層に貫入させて採取する。貫入時は、内側と外側のウィンドーをずらした閉状態にし、

所定の深度に達したら、内側の円筒を回転してウィンドーを合わせた開状態にし、円筒全体を回転させ、かきとり用フィンガーで底泥を内側の円筒内にかきとる。底泥採取が終わったら内側の円筒のウィンドーを閉じた状態にして引上げ、再度窓を開状態にして底泥を採取する。

② 手動によるコアの採取方法

ヘドロのような汚染されている底泥の層が比較的浅

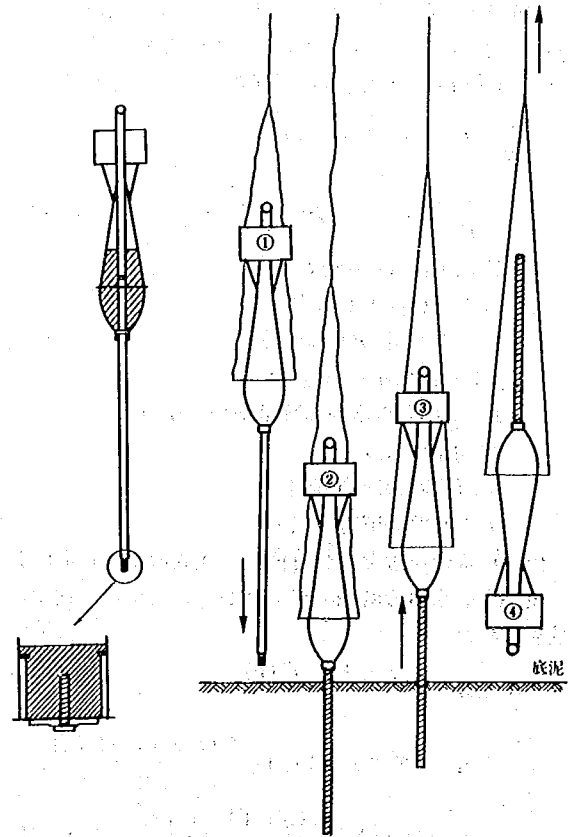
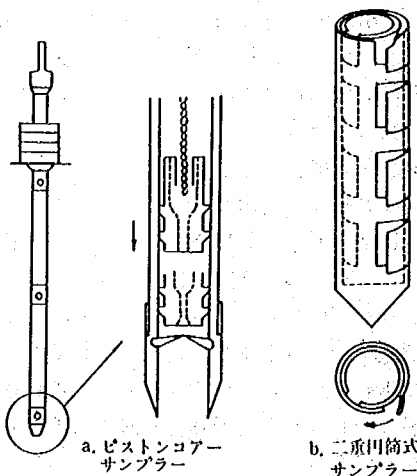
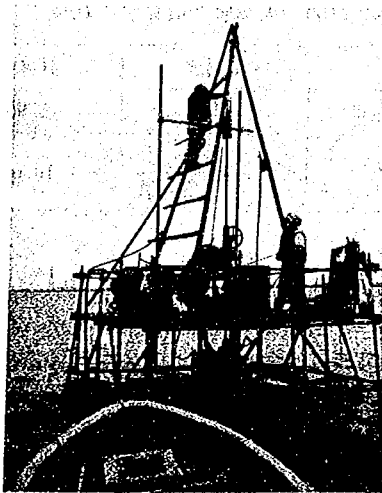
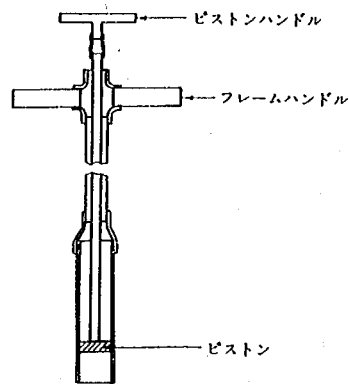


図-2・41 自重落下式サンプラー

く、しかも水深が浅い場合は、直接アクリルパイプのような筒を貫入させて採取することができる。

水深が深い場合でも、ダイバーによって直接採取することも可能である。一般には図-2・41のようにかなり自重のある重りを装備した筒を貫入させて採取する。

③ 物理化学的探査方法

ヘドロ層厚を測定する方法の一つに、ヘドロの物性を物理化学的に測定する方法がある。

図-2・42は土木研究所が開発したヘドロ探層機(島田理化工業KKModel HD-1)のブロック図で、本装置を用いた実測例を図-2・43に示す。本装置の測定原理は赤色ランプにより不安定な底泥界面を正確に検出し、90°コーンで貫入抵抗を測定して、ヘドロ層を検出する。また、本装置にはマイクロフォンを内蔵させているので、砂層の区別も正確にできる。図-2・43の実測例は鶴見川の芦穂橋付近の河床を調査したもので、ヘド

ロ層の中には洪水時に堆積したと考えられる砂礫層がサンドイッチ状に存在していることが判る。このような結果から、調査地点での地層状態は右図のようになっていると判断できる。また、ボーリング調査を平行して実施すれば、両者の比較から浚渫すべきヘドロの量も決めることが可能である。

④ 力学的方法

河床に堆積しているヘドロを簡易的に測定する方法としては、測量用ポールを用い、貫入できるまでの層をヘドロ層とするやり方もある。また、ヘドロ層まで貫入するような、適当な重量を持つ鉄棒を予め調べておき、船上から落下させて測定する方法も検討されている。中国技術事務所では、重量の異なる各種貫入棒を船上から自由落下させ、その貫入深度とボーリング結果から得られるヘドロ層厚との比較を試みている。

調査の結果から、表層が砂礫で覆われている場合や

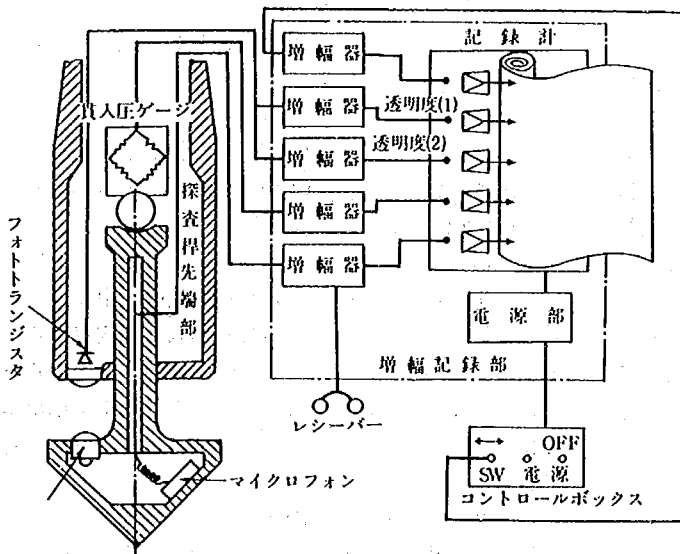


図-2・42 ヘドロ探層機のブロック図

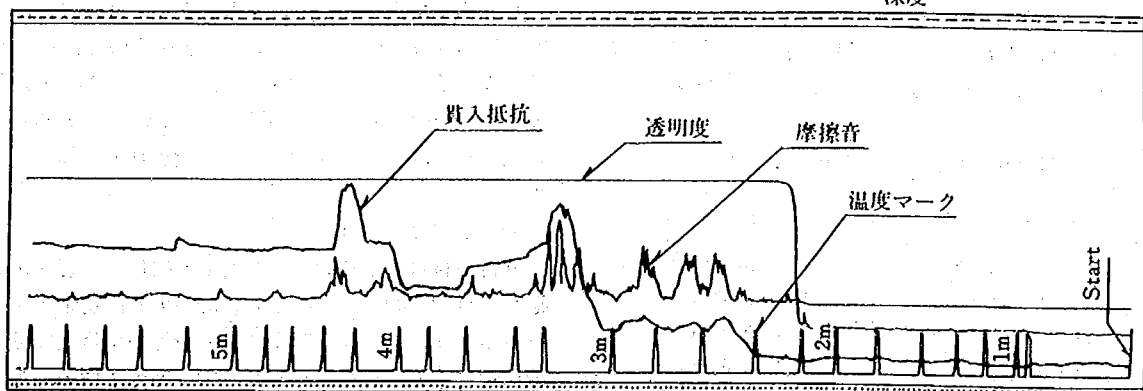
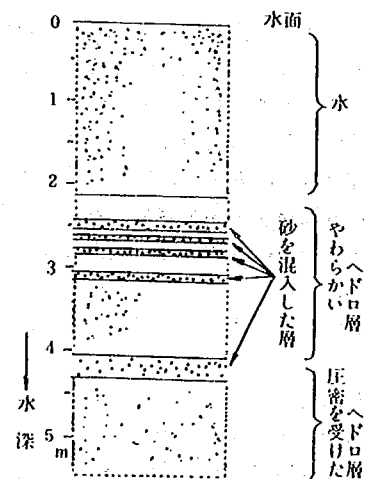


図-2・43 ヘドロ堆積厚の調査例 (s. 46, 10, 13)

サンドウィッチ状に砂礫層が存在していると貫入棒がヘドロ層に対応した深度まで到達しないだけでなく、貫入深度に関係する落下距離が水深の違いなどにより一定に保てないので十分な対応は難しいとしている。

⑤ ヘドロ堆積量の推定方法

ヘドロの定義が明確になされていないので、ヘドロの堆積量を測定するということは矛盾しているが、一般的には有機物を含んだ黒色の腐敗した底泥ということが言える。全国で浚渫されている底泥の成分からヘドロの定義をすると、次のようにいえよう。

a. 有機物が多く含まれ、含水率が50～60%以上であり、有機物を800℃の強熱減量で表すと、乾泥当り10～15%以上の堆積物である。全有機炭素で表示した場合は、乾泥当り4～5%以上の堆積物である。

b. 土質的には、粘土分が多く含まれる堆積物であり、三二酸化物 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$) の含有率が15%以上、シリカ (SiO_2) は55%以下の堆積物といえることができる。

しかしながら、有機物が多く含まれるような底泥は、河川水自体が汚濁しており、底泥への酸素供給速度も遅いので、底泥は嫌気性の黒色を呈しているのが普通である。このように、ヘドロの定義のしかたには有機物、硫化物などの含有率あるいは色による間接的指標など種々の方法があり、当然、使用する指標によって得られる堆積量の結果は異なることになる。

いま、一つの測線上で一定間隔ごとにヘドロ堆積厚 $h_1, h_2, \dots, h_{n-1}, h_n$ が得られたとすれば、一つの測線上でのヘドロの断面積は $S_n = \sum (h_{n-1} + h_n) l_n / 2$ となる。

また、測線の間隔を l_m とすれば、調査区域内のヘドロ堆積量は次式から求められる。

$$\text{ヘドロ堆積量 } w = \sum (s_{n-1} + s_n) l_m / 2$$

ヘドロの定義の違いによる堆積量の推定結果の一例を表-2・56に示す。

この結果によれば、最も簡単な判定方法と考えられる色 (黒～黒灰色) によって評価しても、堆積量を正

表-2・56 ヘドロの定義の違いと堆積量

ヘドロの定義	堆積量
色 (黒～黒灰色)	$8.8 \sim 8.9 \times 10^5$
T.S $\geq 0.3\text{mg/g}$	$9.3 \sim 9.4 \times 10^5$
COD $\geq 20\text{mg/g}$	$4.9 \sim 5.0 \times 10^5$
IL $\geq 15\%$	$7.2 \sim 7.3 \times 10^5$

ただし、T.Sは全炭化物、ILは強熱減量を表す。

しく推定することができると考えられる。

2) 底質の分析方法

① 底質分析用試料の採取方法

底泥からの溶出現象において、河川水質に影響を与える底泥の深さは、溶出する物質の種類により異なるが、概ね10～15cm程度である。このため、底質分析に供する底泥は、エクマン・バーズ、SK式、丸川式など表層汚泥が採取できる採泥器であればよい。もちろん、攪乱されない底泥試料が必要な場合は、堆積量調査に用いるコア・サンプラーを用いる。

② 現場測定項目

ア. 色相 (彩色)

一般的に底質の表面は、淡褐色の酸化被膜を持つが水質汚濁が著しく有機物等を沈積すると、その分解によって底質が嫌気性となり、硫化物を生成して黒色を帯びてくる。このように採泥時の泥色はその地点における底泥が、酸化又は還元状態かをある程度判断できる。(例：黒色、黒灰色、灰黒色、灰色、褐色、黄色、黄褐色、灰褐色等で表す。)

イ. 泥 温

泥温は、直射日光をさけ、泥中に棒状温度計を挿入して測定する。堆積物質中の温度は、河川水の水温に比べると年間の変動は小さいといえる。

ウ. pH

携帯用pH計を校正した後、採泥直後の泥中にガラス電極と比較電極または複合電極を挿入して測定する。底質のpHの測定方法には、この他、間隙水を用いる方法、蒸留水または、塩化カリウム溶液等による抽出水を測定する方法等があるが、現地測定では、直接測定で行なう。

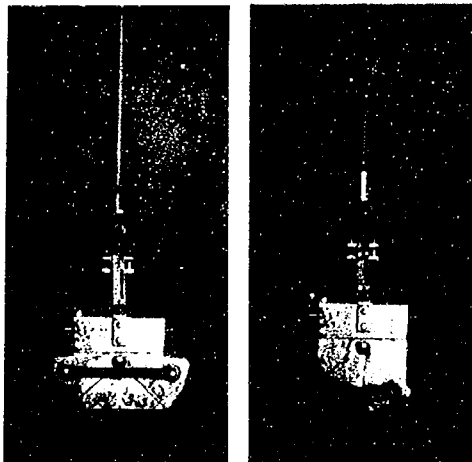
エ. 酸化還元電位 (ORP)

携帯用酸化還元電位計を校正した後、pHと同様、採泥直後の泥中に白金電極と比較電極 (照合電極) を挿入して測定する。照合電極に用いる甘汞電極の内部起電力は内部液のKCl濃度によって異なるので、標準水素電極を基準とした値 (Eh) に換算表示することが望ましい。Ehは、使用する甘汞電極のKCl濃度と測定時の泥温から求まる電位 (Ec) を実測値 (E) に加えて求める。

③ 室内分析項目

分析項目は、水質調査と関連する項目で、有機汚濁指標項目 (COD, BOD, 強熱減量等) と、富栄養化項目 (窒素類, リン類) および、その他の項目 (塩分, 硫化物, 水分含有量等) などから、調査水域の底泥汚染と関係する成分を選定して行うものとする。更に必

写真-1 エクマン・バージ採泥器

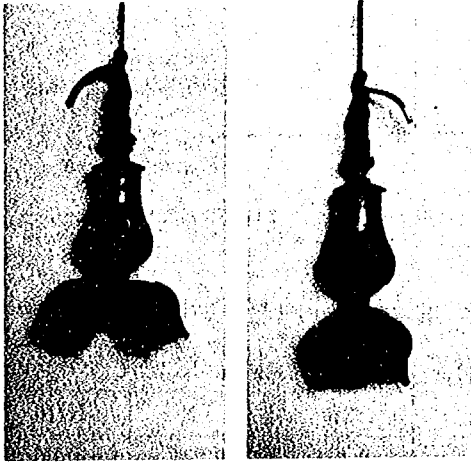


使用 前

使用 後

浅海及び湖沼の採泥、小型底棲動物、ヘドロの採集等に広く用いられている。左側が採泥前の状態。右側はメッセンジャーにより口を閉じた採泥状態である。(20cm角で重量は約9.5kg)

写真-2 丸川式採泥器

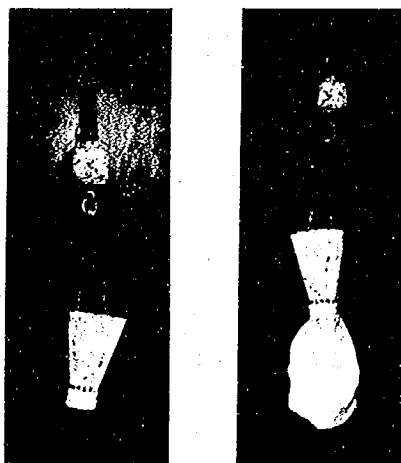


使用 前

使用 後

水深500m迄の採泥に広く用いられている採泥器で、着底すれば自動的に口が閉じる機構になっている。ただし、採泥容量が約300ccと少ない。(重量は約9kg)

写真-3 SK式採泥器



使用 前

使用 後

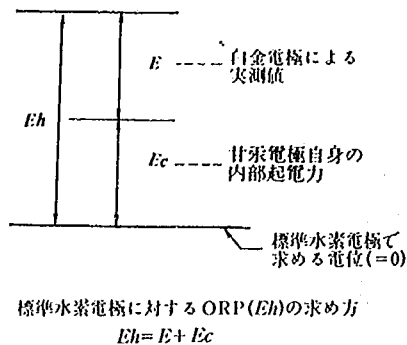
船上でも、橋の上からでも手軽に使用ができ、引上げの際は試料は後部の袋中に入るので確実に、砂泥底質の採取には便利である。(重量は約9kg)

写真-4 ナウマン採泥器



湖沼用の柱状採泥を目的として軽便な採泥器で、筒は長さ約50cm、筒の内側には内径1.6cmの透明なプラスチックの管が入っている。筒と共に試料を取り出せば試料柱状態で見ることも、保存することもできる。(重量約3kg)

図-2・44 表層底泥の採泥器



甘汞電極の内部起電力(Ec)volt

試料の温度 ℃	電極内のKCl濃度		
	飽和	1 N	N/10
5	0.254	0.286	0.335
10	0.251	0.284	0.335
15	0.248	0.283	0.335
20	0.245	0.281	0.334
25	0.241	0.280	0.334
30	0.238	0.279	0.333
35	0.235	0.277	0.333
40	0.231	0.276	0.332

要に応じて、溶存酸素消費量(吸収量)、栄養塩類等の(総窒素、総リン等)溶出試験、粒度分析などについて項目を選定して測定するものとする。

3) 溶出速度の測定方法

底泥からの汚濁物質の溶出速度を測定する方法には、大別して室内試験と現場試験とがある。なお、廃棄物の海洋投棄に係わる海洋汚染防止法に基づく環境庁告示13号(産業廃棄物に含まれる有害物質の検定方法を定める件)および同14号(海洋汚染防止法施行令第5条第1項に規定する埋め立て場所等に排出しようとする廃棄物に含まれる有害物質の検定方法を定める件)による試験方法や、底質の暫定除去基準値を定めた分析方法の底質調査方法(昭和50年10月28日付環水管第120号)等の試験方法は産業廃棄物が環境水に与える影響を安全側に評価するため、48時間振とうして溶出率を求めるものであり、自然界における底泥からの溶出現象とは異なることに注意する必要がある。

① 室内での測定方法

室内での溶出測定は、流入水のDO濃度や水温条件の設定が容易であり、塩分濃度の異なる感潮域の環境条件も再現できるので、広く利用されている。

溶出速度は次式から計算することができる。

$$A = (C_{in} - C_{out}) \times V / (S \times R), \quad \text{gr/m}^3\text{hr}$$

ここで、 C_{in} 、 C_{out} は流入および流出水の水質濃度(mg/l)

V は反応槽の容量(m^3)

S は反応槽内の底泥面積(m^2)

R は流入水の反応槽内における滞留時間(hr)

流入水の流量を $v \text{ m}^3/\text{hr}$ とすれば $R = V/v$ となる。

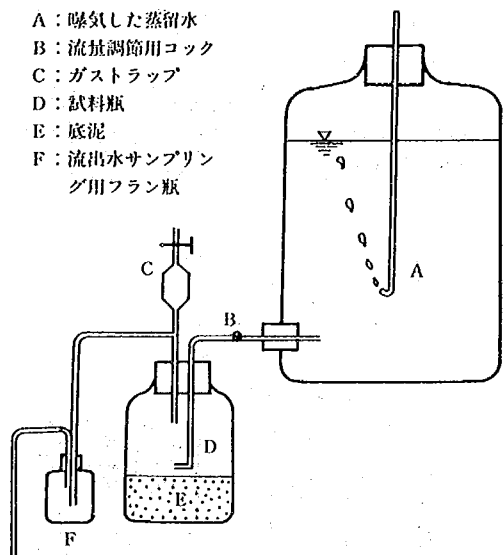


図-2・45 底泥溶出実験装置

② 現場での測定方法

底泥からの汚濁物質の溶出速度あるいは酸素の消費速度を現場で直接測定することができれば、底泥を乱すことなく実態に合ったデータを得ることができる。

このような条件を満たし、かつ、精度良く測定するための装置としては図-2・46のようなかなり大型の円筒を河床に設置し、河川水または調査目的に見合った試水を流入させて実験する。また、同図には記載されていないが、槽内では流入水が底泥を攪乱せず、かつ完全混合するように、流入部と流出部の位置、整流壁等の付加など工夫が必要である。なお、底泥からの汚濁物質の溶出速度あるいは酸素の消費速度を算出するには①の室内での測定方法で用いた式を使用する。

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

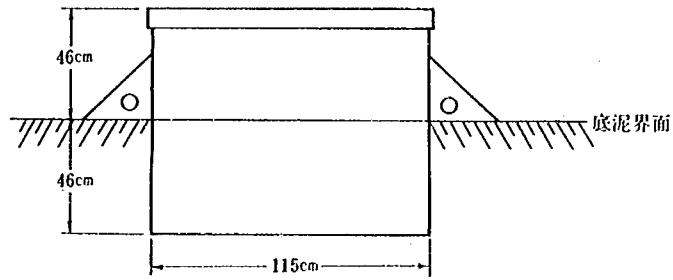
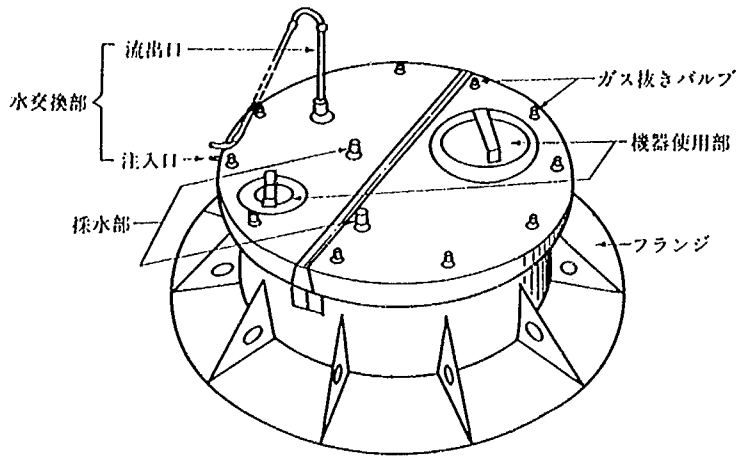


図-2・46 現場用溶出速度測定器⁵⁸⁾

第3章 解析方法

3.1 負荷量収支の解析

3.1.1 定常時（晴天時）の負荷量解析

汚濁負荷の発生から河川への流入、更に基準地点等への到達の機構を明らかにすることが、負荷量解析の目的であるが、汚濁負荷の発生、排出、流達及び河川内での浄化については晴天時の定常状態と雨天時の非定常的な状態とは大きく異なる。従って、負荷量収支の解析は、定常時（晴天時）と非定常時とで別々に扱うのが一般的となっている。

晴天時に於ける汚濁負荷は、一般には図-3・1に示すような流下経路を経て水質基準点に到達するが、排出負荷量のうち河川に到達する割合を示す流達率、河川内での浄化程度を示す浄化率は、流況が安定していれば一定の値を示すと考えられる。

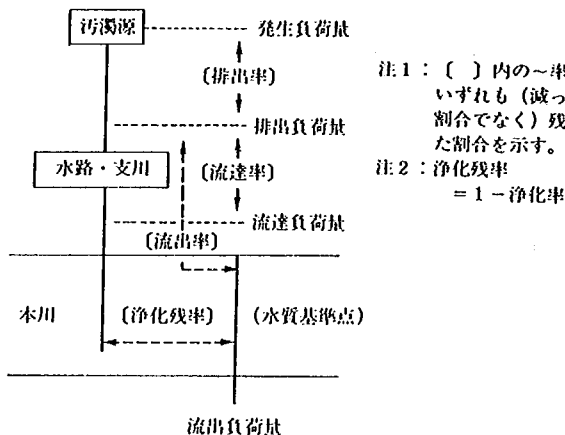


図-3・1 汚濁負荷の流下経路

1) 流達率

排出負荷量に対する流達負荷量の割合を「流達率」といい排出負荷量が流下経路（水路、支川）をたどり、水質予測対象河川に流入するときに到達する汚濁物質の量を流達負荷量とする。従って流達率は次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \text{流達率} &= \frac{\text{水質予測対象河川に到達した汚濁負荷量}}{\text{流域からの総排出負荷量}} \\ &= \frac{\text{流達負荷量}}{\text{流域からの総排出負荷量}} \end{aligned}$$

流達率は、流域の人口密度や排水路、側溝の整備状況などにより異なると考えられるが、その実態は必ずしも明確ではない。BODについては、流達計画におい

て表-3・1のような値が使われている。あるいは、同じく流達計画において流達率Yは、

$$Y = \frac{2.00}{1 + \exp(-3.04X + 6.34)} \quad (3.1)$$

$Y = \log(\text{流達率, \%})$, $\log(\text{人口密度/流域面積}^{1/2})$ としてBODを推定する方法も用いられている。

表-3・1 流達率の標準値(BOD)

流達率	農村部	0.0~0.20	流達率は主として側溝、排水路の整備状況によつ決まると考えられる。
	市街地部		
	周辺地域	0.1~0.6	
	中心地区	0.6~1.0	
	公共下水道	1.0	

(日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説。昭和58年)

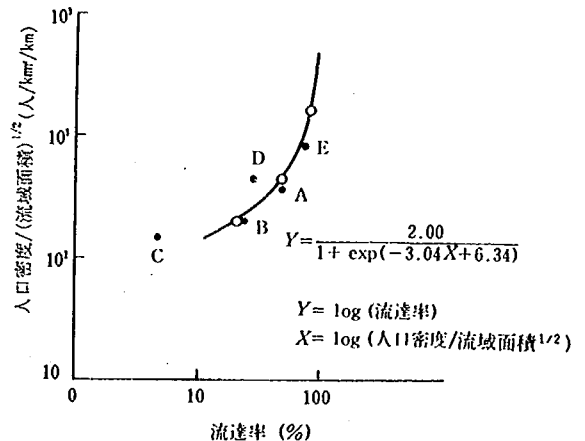


図-3・2 ブロック別流達率 (BOD)

BOD以外の水質項目については、流達率の検討が殆ど行なわれていない。この為、COD, SS, TN, TP等の項目については、その都度現地調査を行なう必要がある。

2) 浄化残率、流出率

水質予測対象河川に流入した負荷量は、当該河川の水質基準点（水質予測地点）に達するまでの間に更に沈殿、分解などの浄化作用（自浄作用）を受ける。流達負荷量に対して水質基準点（水質予測地点）を通過する汚濁負荷量（流出負荷量）の割合を「浄化残率」という。

更に、排出負荷量に対する水質予測地点を通過する汚濁負荷量の割合を「流出率」といい、排出負荷量のうち排水路や河川での自浄作用等の影響を受けずに水質基準点（水質予測地点）に到達する割合を示す。

$$\text{流出率} = \frac{\text{水質基準点(水質予測対象地点)を通過する汚濁負荷量}}{\text{流域からの総排出負荷量}}$$

$$= \frac{\text{流出負荷量}}{\text{流域からの総排出負荷量}}$$

流出率は流達率と浄化残率との相乗したものに相当し、

$$\text{流出率} = \text{流達率} \times \text{浄化残率}$$

で表わす。BODの場合、浄化の内容は生物学的酸化と、沈殿、吸着等であり定常流で流れている河川におけるBOD反応は次式で表わされる。

$$\frac{\partial L}{\partial t} + U \frac{\partial L}{\partial x} = E_x \frac{\partial^2 L}{\partial x^2} - (K_1 + K_3)L + L_a \quad (3.2)$$

L : 最終BODの断面平均濃度

U : 平均流速

E_x : 流下方向分散係数

K_1 : 生物学的酸化によるBODの減少係数(脱酸素係数)

K_3 : 沈殿、吸着等によるBODの減少係数

L_a : 河床等からの溶出による内部負荷

河川においては感潮部を除くと拡散の影響は小さいのでこれを無視すると、

$$\frac{dL}{dt} = \frac{\partial L}{\partial t} + U \frac{\partial L}{\partial x} \quad (3.3)$$

となる。従って、BODの収支は、

$$\frac{dL}{dt} = -(K_1 + K_3)L + L_a$$

$$= -K_r L + L_a \quad (3.4)$$

で表わされる。横からの流入が無い場合($L=0$)を考えると下流のBOD、 L_L は上流のBOD、 L_u を用いて、

$$L_L = L_u \exp(-K_r \cdot t) \quad (3.5)$$

t : 上流から下流までの流下時間

で表わすことができる。河床などから一様な流入負荷 L_a がある場合には、

$$L_L = (L_u - \frac{L_a}{K_r}) \exp(-K_r \cdot t) + \frac{L_a}{K_r} \quad (3.6)$$

となる。

以上から、河床等からの流入が無い場合の浄化残率は、

$$\frac{L_L}{L_u} = \exp(-K_r \cdot t) \quad (3.7)$$

あるいは、

$$\text{浄化率} = 1 - \exp(-K_r \cdot t) \quad (3.8)$$

で表わされる。河川におけるBOD減少係数 K_1 は、汚濁負荷が生活系か産業系かによっても異なるし、また、排水路との合流点からの距離によっても異なる。生物学的な分解によるBOD減少係数 K_1 は、家庭下水を主体としたBODの場合0.1~0.3(1/日)程度であり、 K_r はこれらの数倍から数十倍となる。 K_r/K_1 と水深との関係をまとめると図-3.3のようになり、 K_1 と水深を測定して K_r を推定することも出来る

浄化残率と流達率を乗じた流出率については、図-3.4のような関係が報告されている。

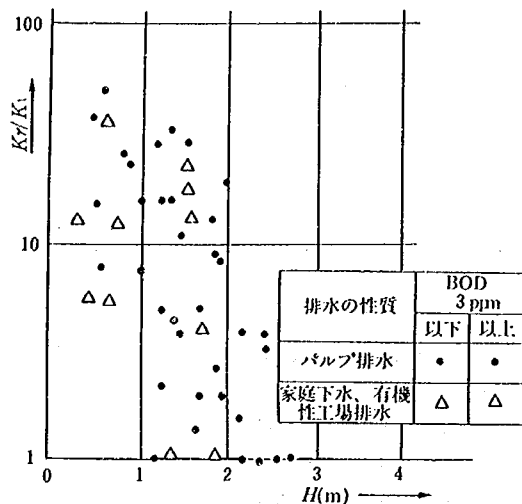


図-3.3 K_r/K_1 と平均流速(H)の関係

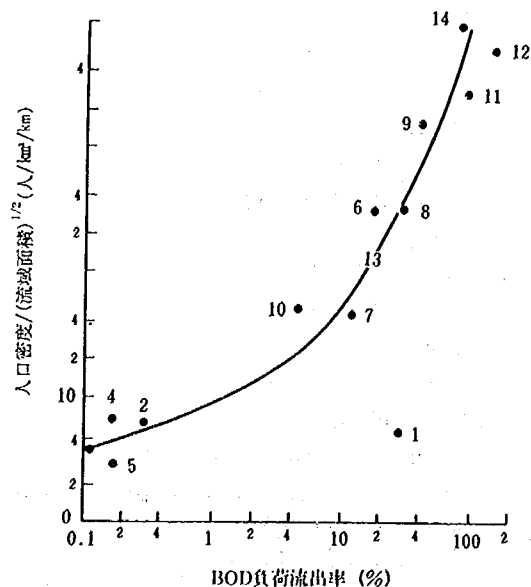
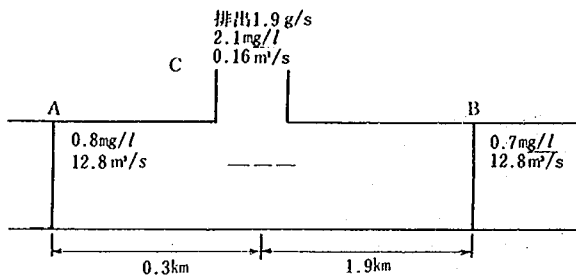


図-3.4 BOD負荷流出率と人口密度/(流域面積)^{1/2}との関係

3) 流出率, 浄化率の計算例

下図のように上流Aと下流Bの区間2.2kmの途中でCより流入がある場合, この区間で浄化率とC流域からの流出率を求めるための調査を行ない次のような結果となった。

$$\begin{aligned} Q_A &= 12.8 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ BOD}_{5,A} = 0.8 \text{ mg/l} \\ Q_B &= 12.8 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ BOD}_{5,B} = 0.7 \text{ mg/l} \\ U &= 0.37 \text{ m/s}, \text{ AC} = 0.3 \text{ km}, \text{ CB} = 1.9 \text{ km} \\ Q_C &= 0.16 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ BOD}_{5,C} = 2.1 \text{ mg/l} \\ \text{でC流域の排出BOD}_5 &= 1.9 \text{ g/s} \end{aligned}$$



また, 3点での脱酸素係数 K_1 を測ったところ, 次のようになった。

$$K_{1,A} = K_{1,B} = 0.1 \text{ (1/日)}$$

$$K_{1,C} = 0.18 \text{ (1/日)}$$

先ず, 最終BOD負荷量を求めると,

$$\begin{aligned} L_A &= \frac{0.8 \times 12.8}{1 - \exp(-0.1 \times 5)} \\ &= 26.02 \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_B &= \frac{0.7 \times 12.8}{1 - \exp(-0.18 \times 5)} \\ &= 22.77 \text{ g/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_C &= \frac{2.1 \times 0.16}{1 - \exp(-0.18 \times 5)} \\ &= 0.566 \text{ g/s} \end{aligned}$$

次に流下時間をもとめると,

$$\begin{aligned} t_{AB} &= 2.2 \text{ (km)} / 0.37 \text{ (m/s)} \\ &= 6.88 \times 10^{-2} \text{ 日} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{CB} &= 1.9 \text{ (km)} / 0.37 \text{ (m/s)} \\ &= 5.94 \times 10^{-2} \text{ 日} \end{aligned}$$

A~B間のBOD減少係数 K_r を一定すると,

$$22.77 = 26.02 \exp(-K_r \cdot t_{AB}) + 0.566 \exp(-K_r \cdot t_{CB})$$

従って, $K_r = 1.97 \text{ (1/日)}$

CB間の浄化残率は,

$$\begin{aligned} \exp(-1.97 \times 5.94 \times 10^{-2}) \\ = 0.889 \approx 0.89 \end{aligned}$$

あるいは,

$$\text{浄化率} = 1 - 0.89 = 0.11$$

$$\text{C流域の流達率} = \frac{2.1 \times 0.16}{1.9} = 0.177$$

従って, C流域からのB点への流出率は,

$$0.177 \times 0.89 = 0.157,$$

となる。

3.1.2 非定常時(雨天時)の負荷量解析

雨天時のように流量, 水質が時間的に大きく変動する場合の負荷量解析は, 通常流量と負荷量との関係を経験的に求めて行なわれる事が多い。図-3・6は昭和60年に太田川で行なわれた調査事例であるが, 流量と負荷量との間に何らかの関係が有ることが見出されている。このような流量と負荷量との関係図を $L \sim Q$ 図と呼び, この間系は $L \sim Q$ 曲線, あるいは $L \sim Q$ 式で表わされている。

$L \sim Q$ 式は一般に

$$L = a \cdot Q^b \quad (3.9)$$

L : 負荷量 (g/s)

Q : 流量 (m³/s)

a, b : 定数

という形で表わされ, BOD, TNのように溶解性のものが占める割合が大きいと b が1に近づき, 逆にSSのような固形物については b が2~3となる $L \sim Q$ 式は河川の測定地点に於ける流量と負荷量との関係を推定するには便利な方法であるが, 発生, 排出源については特定できない。さらに, 図-3・6のBODにみられるように, 溶解性の成分の比率が比較的大きい項目については, $L \sim Q$ は一対一の対応とならないことが多い。

第2章で述べたように, 汚濁負荷の発生源は点源と面源とに分けられる。点源からの排出負荷量は, ①排水路内に沈殿・吸着するもの, ②河道内に沈殿, 付着するもの③排水中あるいは河川中で分解するもの, 及び④河川の基準点に到達するものに分類することが出来る。晴天時の排出負荷量を L_D とすると, ①+②+③の負荷量は,

$$L(1 + 2 + 3) = L_D \cdot (1 - \text{流出率}) \quad (3.10)$$

で表わされる。さらに, 流域の排出負荷の中心点から河川の基準点までの流下時間を t とすると③の分解量は $L_D \cdot \exp(-K_1 \cdot t_D)$ で近似することができる。従って, ①+②の負荷量は,

$$\begin{aligned} L(1 + 2) &= L_D \{ 1 - \text{流出率} \\ &\quad - \exp(-K_1 \cdot t_D) \} \quad (3.11) \end{aligned}$$

で表わされ, これから沈積, 吸着した負荷の分解分を差し引けば一日当たりの負荷の累積量が推定できる。

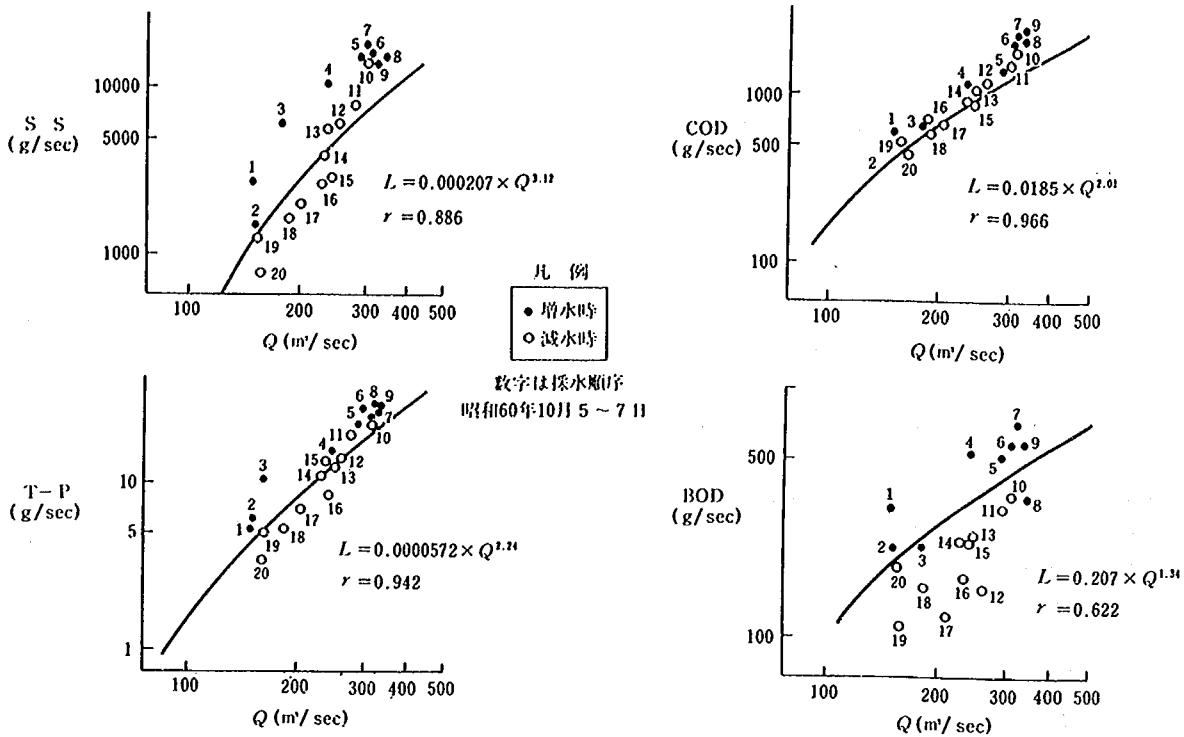


図-3-5 流量と負荷量の関係 (太田川)

沈積、吸着した負荷の分解速度係数 K と等しいと仮定し、 T 日間の蓄積量 S_T を求めると次のようになる。

$$S_T = L (1 + e^{-K1} + e^{-2K1} + \dots + e^{-(T-1)K1})$$

$$\therefore S_T = \frac{L_A (1 - e^{-TK1})}{1 - e^{-K1}} \quad (3.12)$$

ただし、 $L_A = L_D [1 - \text{流出率} - \exp(-K_1 \cdot t_0)]$
 L_D = 点源排出負荷量

従って、雨天時の流出負荷量から (3.12) 式で求める S_T を差し引くことによって面源からの負荷量を推定することが出来る。

晴天時と雨天時を含む年間の流出負荷量を推定する場合には、流量データから $L \sim Q$ 式を用いる方法が一般的であるが、簡便な方法としては表-3-2のような年間流出率を用いる方法も知られている。

3.1.3 感潮河川の負荷量解析

一般に感潮河川の汚濁解析は、潮汐による順逆流があるので潮の干潮の影響を受けない非感潮河川に比較して解析が複雑となる。感潮河川の汚濁解析をする方法には各種の方法がある。

潮汐の作用はほぼ周期的に反復して起こっているが1潮時の間の水質の変動を詳細に解析する必要がない

表-3-2 年間平均の負荷量に関する流速率

比流量 (m³/日/km²)	COD年間流速率	BOD年間流速率
2,000未満	0.2 程度	0.10 程度
2,000～3,000	0.3	0.15
3,000～4,000	0.6	0.30
4,000～5,000	0.9	0.45
5,000～6,000	1.0	0.75
6,000以上	1.0	1.0

ただし、比流量は年間平均流量に関する比流量であり、当該流域内の排水量も含めた値である。(環境庁調査による。)

場合は感潮部 (河川) の流れを定常流とみなして1潮時の平均水質を求めるボックスモデル、タイダルプリズム法 (Ketchum法) など擬定常流として計算する方法が知られている。なお、感潮区間におけるBOD値は同量の汚濁物質を有する淡水区間のBOD値と異なることがある。

感潮河川の負荷量解析の方法としては次のような方法が知られている。

- ① ボックスモデル法
- ② 変形ボックスモデル法
- ③ Ketchumのタイダルプリズム法

④ Preddy法

1) 感潮河川の負荷量解析既往資料

① 不定流拡散計算法による方法 (太田川市内派川水質汚濁予測計算)

S. 49, 3 建設省土木研究所, 太田川工事事務所

② 完全混合モデルによる方法 (水質保全と汚濁解析)

昭和61年度 北海道開発局技術研究発表会資料

③ ボックスモデル法による方法 (太田川放水路における懸濁粒子の挙動)

環境科学研究所報告書 B-204-R01-2
1984年

太田川下流部派川について, 1次元としてとりあつかった不定流計算による水理計算及び塩分濃度での拡散計算を行ない, 当該河川の水質汚濁解析を行なった事例を紹介する。

(対象区間) 図-3・7参照

上流端: 太田川戸坂取水標地点

下流端: 放水路を除く旧太田川, 天満川, 元安川, 京橋川及び猿猴川の5派川の流末あるいは河口

① 不定流計算

水理量把握のための基本式は, 流下方向のみを考えた1次元の不定流計算式であり, 基本方程式は, 次の運動方程式と連続の式である。

運動方程式

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n \partial V}{g \partial t} + \frac{\alpha \partial V^2}{2 g \partial x} - \frac{n^2 V |V|}{R^{4/3}} = 0 \quad (3.13)$$

連続の式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial (AV)}{\partial x} = q \quad (3.14)$$

ここで, t : 時間 (s)

x : 距離 (流下方向を正にとる。m)

H : 水位 (m)

V : 断面平均流速 (m/s)

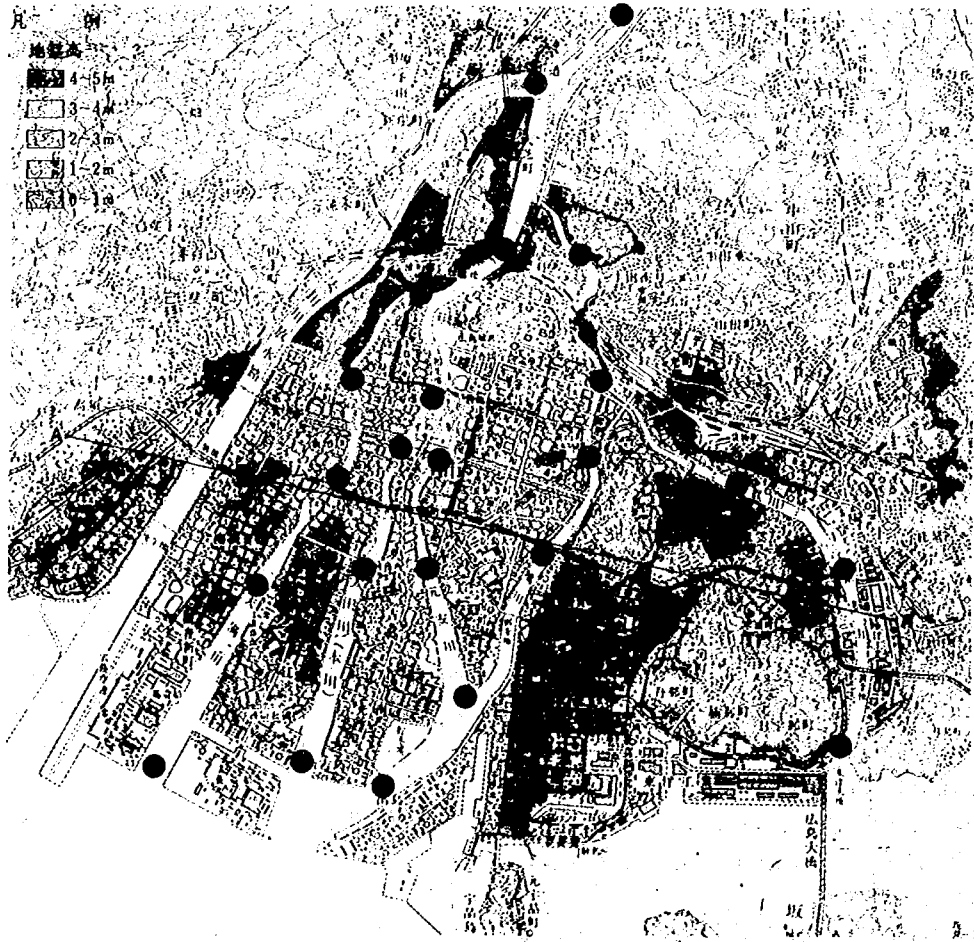


図-3・6 調査地点

- n : 粗度係数 (—)
 R : 径深 (m)
 A : 流積 (m²)
 Q : 流量 (m³/s)
 q : 単位距離当たりの横流入量 (m³/s/m)
 n, a : 修正係数 (通常ともに1.0)
 g : 重力の加速度 (m/s²)

不定流計算により、各地点、各時刻の水理量を把握するために必要な水理条件は上流端で流量の変化、下流端で水位の時間変化、途中流入量の時間変化及び各断面でのH-A、H-R、H-B(川幅)、さらに粗度係数などである。

(太田川の例)

- 計算地点数: 76地点 (地点間の距離500m)
 計算時間: 2潮時25時間 (時間間隔は60秒)
 断面: 上記76地点について、H-A、H-R、H-Bを0.5m間隔で計算
 境界条件: 下流端では水位の時間変化を与える。
 (データは近隣の検潮所のデータ)
 上流端では流量を与える。

横流入量: 計算区間のポンプ場、処理場等9ヶ所
 粗度係数: 既往資料より $n=0.0261$ で一定とする。

なお、計算結果は、30分間隔で各地点の水位、流速、流量等諸量を出力し、代表11地点については、別途図示した。資料によれば、上流からの流量(36m³/s)が対象水域に行きわたる時間がほぼ130時間となることから、この水理条件での拡散計算では、25時間2潮時を1周期とし5周期計算すればよいとしている。

② 拡散係数を求めるための拡散計算

BOD等の汚濁物質濃度の拡散計算の基礎方程式は、次のような拡散方程式である。

$$\frac{\partial(AC)}{\partial t} + \frac{\partial(AVC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(AD \frac{\partial C}{\partial x} \right) + L - KAC \quad (3.15)$$

ここで、 C : 水質

D : 拡散係数

L : 単位時間、単位距離当たりの流入負荷量

K : 減少係数

であり、他の記号は前式と同じである。

この拡散方程式により、汚濁物質の濃度を算定するが、式中の係数である拡散係数及び減少係数について、拡散係数は保存物質である塩素イオン、減少係数は

BODの実績分布により検証して定める。

ここでは、まず塩素イオンを指標にとって、拡散係数を種々に変えて拡散計算を行ない、実測の塩素イオン分布が最も良く再現出来るような拡散係数を求める。

(計算条件)

計算時間は、25時間を1周期として5周期計算し、時間間隔は、600秒(10分)とした。

水理条件として、不定流計算結果から10分毎の平均流速、平均流積を各断面について与えた。

境界条件として、下流端は各河口の実測値から、17,500ppmで一定とした。上流端は、戸坂量水標から約1.5km下流の西原量水標の実測値の最小値を包絡して30ppmで一定とした。

拡散係数は、水理量の関数であるから、種々の大きさのものを与えてトライアル計算を行なうにしても、水理量の関数として与えなければならない。そこで、拡散係数としては、摩擦係数 U^* と水深 H とに比例するとするエンダー型のものを用いた。

$$\begin{aligned} Dq &= C \cdot U^* \cdot H \\ &= C \cdot g^{1/2} \cdot n \cdot V \cdot R^{-1/6} H \\ &\approx C \cdot g^{1/2} \cdot n \cdot V \cdot R^{5/6} \end{aligned} \quad (3.16)$$

上式において C は、ここで求めようとしている係数であり、他の記号は前式と同じである。従って、 C 以外については不定流計算結果より与えた。

なお、計算結果では、満潮時及び干潮時の縦断変化と、各地点の時間変化について、実測値と計算値を比較してみると、 $C=5000.0$ としたときが塩素イオン濃度の変化の傾向を最も良く表わしているとある。

③ BOD減少係数を定めるための拡散計算

拡散計算の基礎方程式は、前項の式の中の K をBOD減少係数におきかえるが、BODの特性からBOD減少係数を、脱酸素係数 K_1 とBOD除去速度 K_3 に分ける。すなわち、 $K=K_1+K_3$ とする。

よって、BODについては、 K_1 及び K_3 を種々与えて拡散計算を行ない、実測のBOD分布を最も良く再現する K_1 及び K_3 を求めればよい。

(計算条件)

計算ケースは、BOD減少係数(K_1 , K_3)と拡散係数に係わる係数 C のトライアルによる計算ケース(8ケース)とした。(次表参照)

計算区間、計算時間及び水理条件は、塩素イオンの拡散計算と同じで500m間隔、10分間隔とした。

1) 境界条件

下流端: 4河川河口地点での実測値から与えた。

下流端: 西原地点の実測値の平均値BOD 1 ppm

ケース	K_1	K_2	C
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	5000
4	0.25	0.00	100
5	0.25	0.25	100
6	0.25	0.00	5000
7	0.50	0.00	5000
8	0.50	0.00	5000

を一定で与えた。

なお、計算結果によれば、BODの拡散計算による実測値との適合性から判断して対象水域のBOD拡散計算での定数として、 $C=5000$ 、 $K_1=0.50$ 、 $K_2=0.0$ が適切であると考えられた。

(以下の計算は省略する。)

(参考資料：土木研究所、太田川工事事務所 太田川市内派川水質汚濁予測計算報告書、昭和49年3月)

3.1.4 負荷量収支図

負荷量収支図は、調査範囲内に流入する負荷量などの程度保存されて下流に流出するかを図示するもので、この図により流入支川の流達率、本川の浄化率等の検討を行なうものである。

収支図は、流量収支図と負荷量収支図及び収支モデル図により構成され、水質項目単位でとりまとめる。

負荷量収支図を作成するためには、流量収支を確定する必要がある。まず、実測流量を用いて区間累積流量を求め、流量収支図(図-3・8)を作成する。この流量収支図をもとに必要に応じて流量補正を加え流量の収支モデル図(図-3・9)として、調査範囲内の流量収支を確定する。

負荷量収支図は、確定された流量収支データと汚濁物質の実測値を用いて区間累積負荷量を求め作成するが、調査河川の規模や背後の状況に応じて図の書き方には多少の工夫をする必要がある。

図-3・10に比較的規模が小さくデータが多い場合の負荷量収支図を示す。中心の地点は、直接地点を記入するよりも、地点と番号あるいは記号とを対比した表を作成し、番号あるいは記号で記入するほうが図の作成が容易である。

また、本川地点については支川と区別出来るように例えば丸印を付けるなどする。

図-3・11は図-3・10で示した負荷量収支図(累積負荷量)に流下距離を考慮し、負荷量の変化図(収支図)として示したものである。流下する負荷量の大きさを

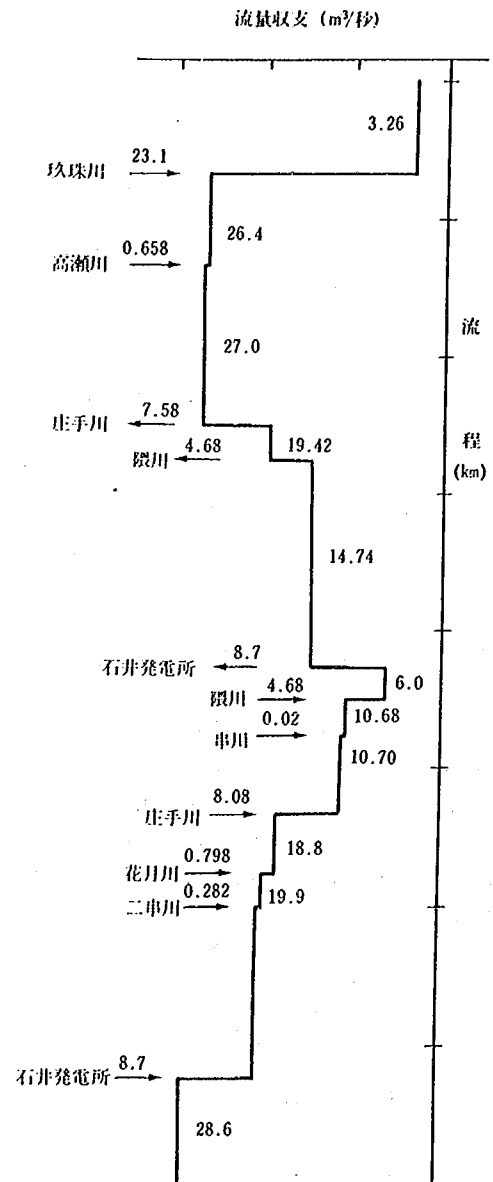
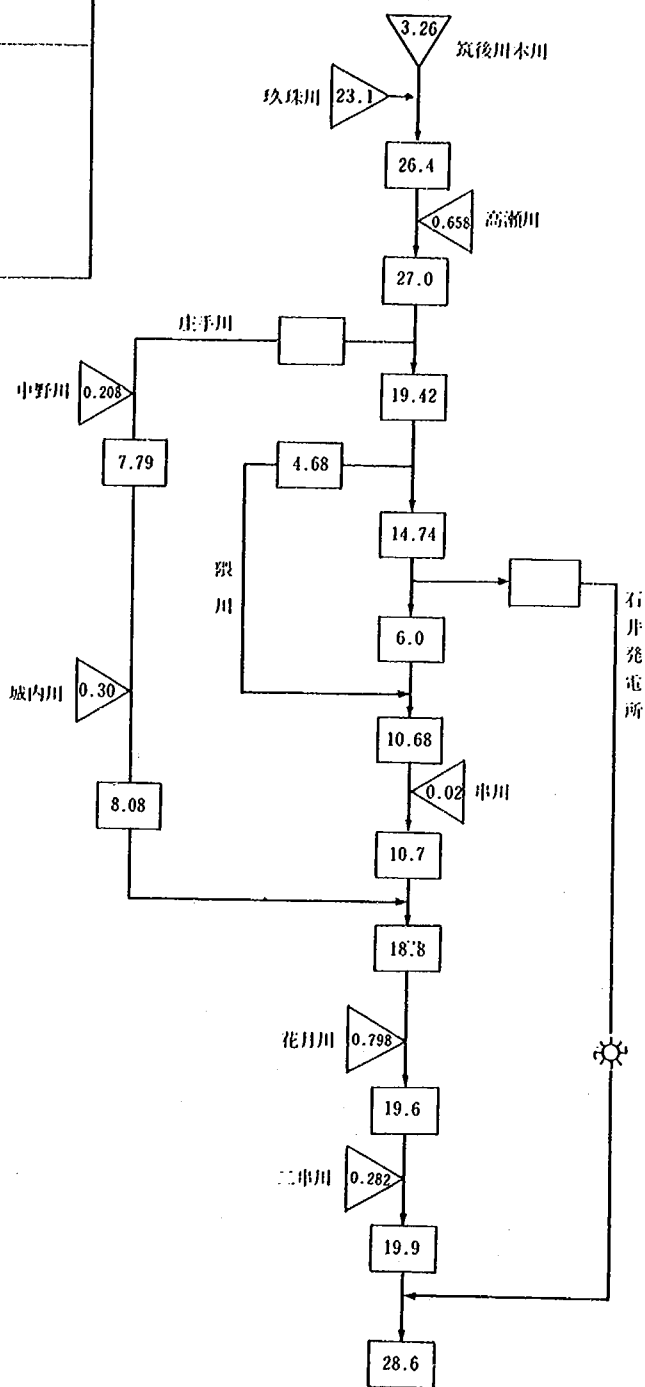
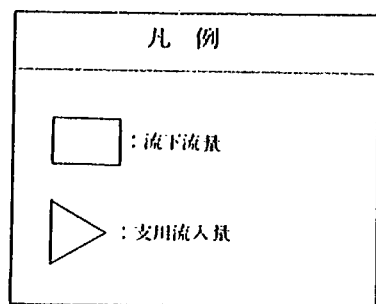


図-3・7 流量収支

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)



(単位: $\text{m}^3/\text{秒}$)

図-3・8 流量収支図

幅で示し、本川については左右対称形、支川については流入ー及び流入負荷量（数値データ）で明示する。

河川規模が大きい場合は、図-3・10及び図-3・11で示

すように容易に負荷量収支を取ることが出来ない場合が多い。

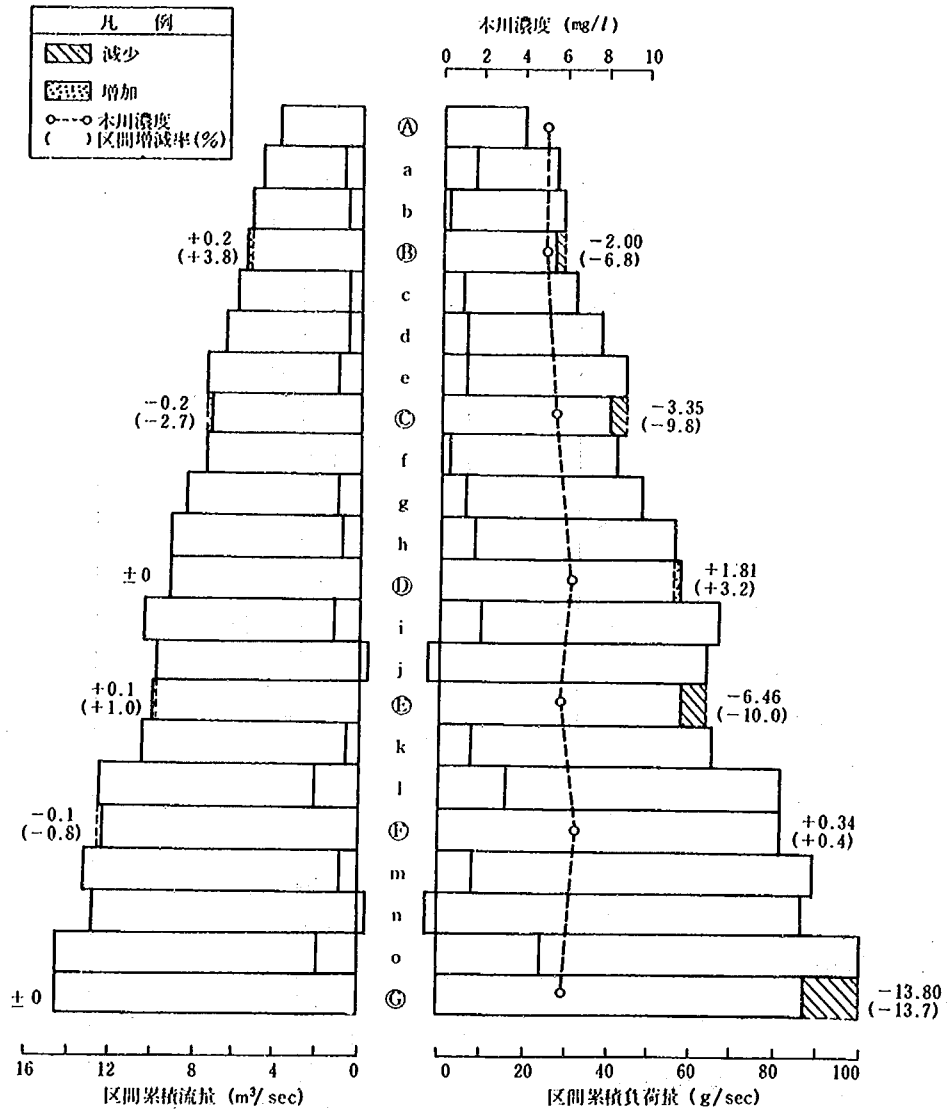


図-3・9 負荷量収支図

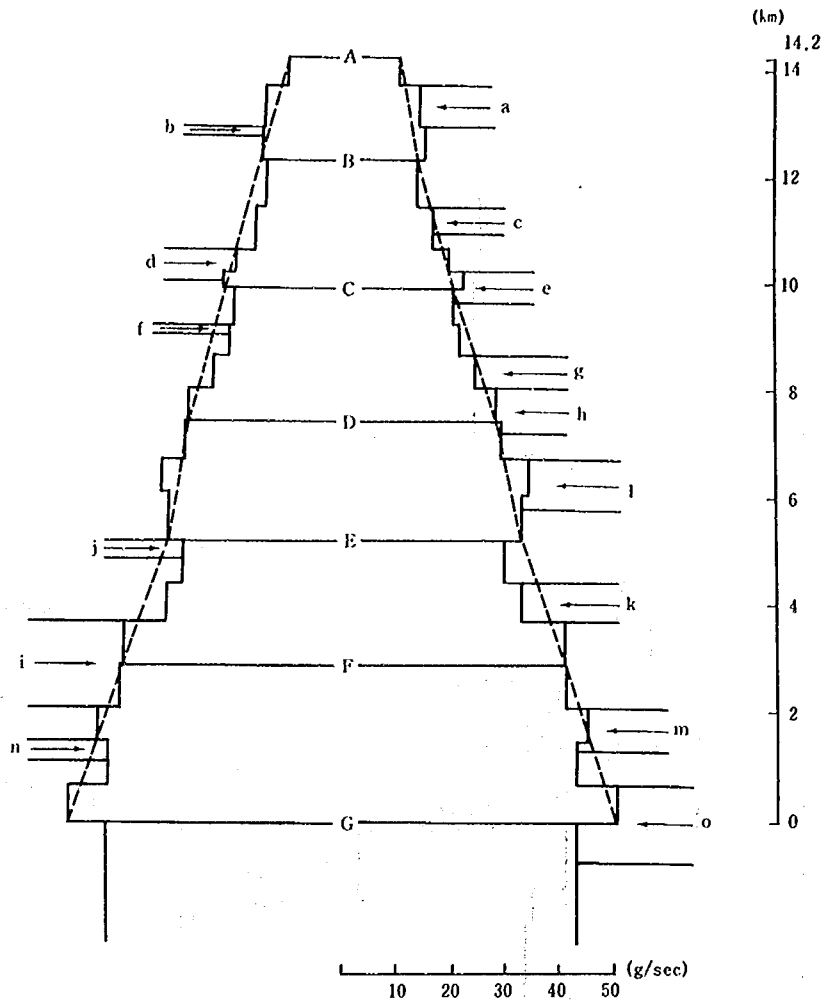


図-3・10 負荷量変化図

そこで、図-3・12に示すように流下距離に対応する累積負荷量を理論値と実測値とに分け、理論値を実線で、実測値を点線で表示し、その差に対する考え方を左側に示すようにする。この理論と実測間で生じた差については、測定誤差、本川への直接負荷、自浄作用、自濁作用などが考えられるため、必要に応じて実測調査や資料・文献等による補正を加える必要が生じることもある。

以上、河川の状況に応じて作成した負荷量収支図は最終的に図-3・13に示す負荷量の収支モデル図として整理する。

収支モデル図は、負荷量収支図を大集成したもので、背後の発生汚濁負荷量から調査範囲外への流出負荷量までの流達率や浄化率を組み込んで収支解析し、調査範囲における負荷量の増減の状況を明らかにするものである。

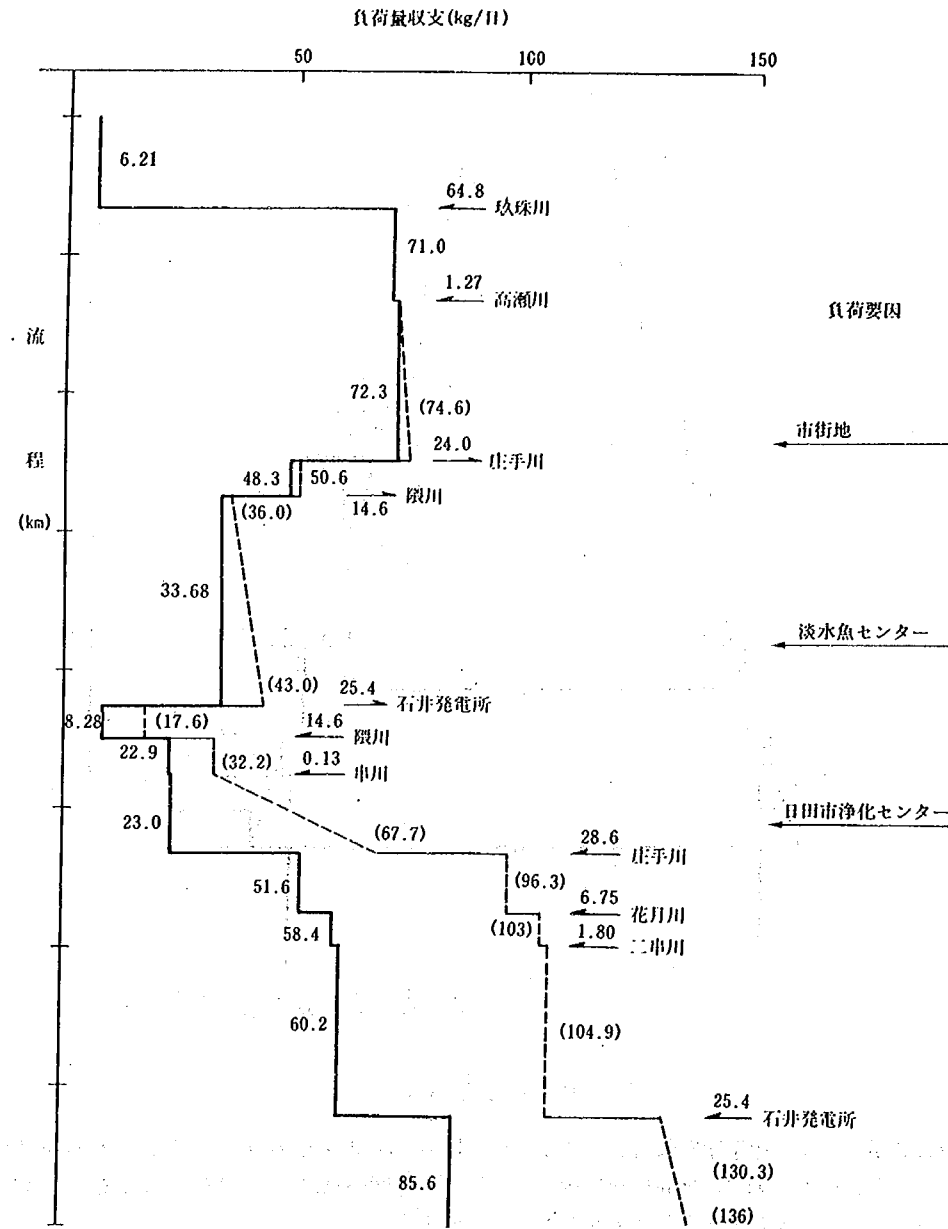


図-3・11 筑後川の負荷量収支図 (例)

河川の総合負荷量調査実施マニュアル(案)

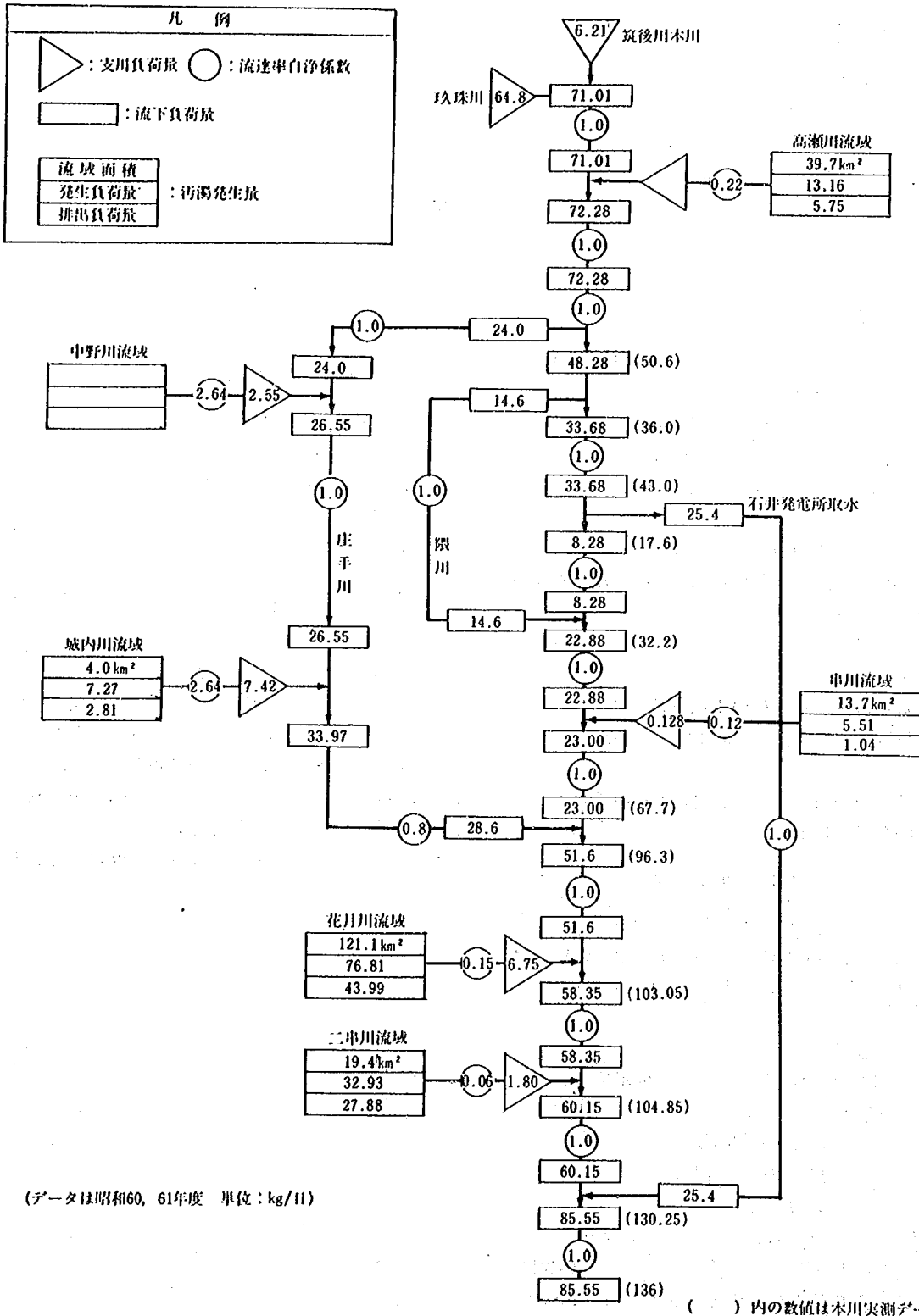


図-3・12 筑後川の負荷量収支モデル図 (例)

3.2 統計解析の方法

3.2.1 BODの脱酸素係数

河川の自浄作用の機構は完全に解明されたわけではないが、自浄作用の一つの機構に水中の微生物による有機物等の生物化学的な分解があることが知られている。

この反応をBODの減少としてとらえると、一般には次のような一次反応として表わされることが多い。

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L \quad (3.17)$$

ここに L : 任意の時間 t における最終BOD
 t : 時間

K_1 : BODの脱酸素係数

(3.17) 式の K_1 をBODの脱酸素係数という。

(3.17) 式を積分すると次式になる。

$$L = L_0 e^{-K_1 t} \quad (3.18)$$

ここに L_0 : 初期の最終BOD

y をこの間の酸素消費量とすれば $y = L_0 - L$ であるから (3.18) 式より、

$$y = L_0 (1 - e^{-K_1 t}) \quad (3.19)$$

となる。

(3.19) 式における K_1 、 L_0 の求め方は、従来から最小自乗法、対数差法、傾斜法、間差法、作図法などが用いられている。

ここでは、表-3.3のデータを用い上記の計算方法による計算例を以下に示す。

表-3.3 実測データ

t (H)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
酸素消費量 y (mg/l)	1.1	1.8	2.4	2.9	3.3	3.7	4.1	4.4	4.5	4.6

1) 最小自乗法

いま、(3.19) 式の K_1 を次のように仮定する。

$$K_1 = K_1' + h \quad (3.20)$$

ここに、 K_1 : 脱酸素係数

K_1' : K_1 の近似値

h : K_1' の補正值

(3.20) 式を (3.19) 式に代入すると次式となる。

$$y = L_0 - L_0 \cdot e^{-K_1' t} \cdot e^{-ht} \quad (3.21)$$

h が比較的小さい値であることにより $-ht$ も比較的小さいと考えることが出来る。従って、 $e^{-ht} = 1 + ht$ の関係より (3.21) 式は次式となる。

$$y = L_0 (1 - e^{-K_1' t}) + L_0 h (te^{-K_1' t}) \quad (3.22)$$

$$= af_1 + bf_2$$

ここに、 $a : L_0$

$b : L_0 h$

$f_1 : 1 - e^{-K_1' t}$

$f_2 : te^{-K_1' t}$

実測値と計算値の差を $R = y - (af_1 + bf_2)$ とし、差の自乗和 (ΣR) を極値にするような a 、 b を求めればよい。すなわち、

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Sigma R^2}{\partial a} &= \Sigma f_1 y - a \Sigma f_1^2 \\ &\quad - b \Sigma f_1 f_2 = 0 \end{aligned} \quad (3.23)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Sigma R^2}{\partial b} &= \Sigma f_2 y - a \Sigma f_1 f_2 \\ &\quad - b \Sigma f_2^2 = 0 \end{aligned} \quad (3.24)$$

(3.23)、(3.24) 式より

$$Dab = \Sigma f_1^2 \Sigma f_2^2 - (\Sigma f_1 f_2)^2 \quad (3.25)$$

$$a = \frac{\Sigma f_2^2 \cdot \Sigma f_1 y - \Sigma f_1 f_2 \cdot \Sigma f_2 y}{Dab} \quad (3.26)$$

$$b = \frac{\Sigma f_1^2 \cdot \Sigma f_2 y - \Sigma f_1 f_2 \cdot \Sigma f_1 y}{Dab} \quad (3.27)$$

$$h = \frac{b}{a} \quad (3.28)$$

となる。 K_1 の適当な近似値 K_1' を仮定し、反復計算により h がほぼ 0 に等しい K_1' を求め、 $K_1 = K_1'$ とする。いま、表-3.3のデータを用い、 $K_1' = 0.150$ と仮定し計算すると $h = 0.053$ となった。 $K_1' = 0.150 + 0.053 = 0.203$ と仮定し計算すると、 $h = -0.006$ となった。つぎに、 $K_1' = 0.203 - 0.006 = 0.197$ と仮定し計算する。

$K'=0.197$ と仮定

計算表

測定値		計算表							
t	酸素消費量 y (mg/l)	$e^{-K't}$	f_1 $1 - e^{-K't}$	f_2 $te^{-K't}$	$f_1 \cdot y$	$f_2 \cdot y$	$f_1 \cdot f_2$	f_1^2	f_2^2
1	1.1	0.821	0.179	0.821	0.197	0.903	0.147	0.032	0.674
2	1.8	0.674	0.326	1.348	0.587	2.426	0.439	0.106	1.817
3	2.4	0.554	0.446	1.662	1.070	3.989	0.741	0.199	2.762
4	2.9	0.455	0.545	1.820	1.581	5.278	0.992	0.297	3.312
5	3.3	0.373	0.627	1.865	2.069	6.155	1.169	0.393	3.478
6	3.7	0.307	0.693	1.842	2.564	6.815	1.277	0.480	3.393
7	4.1	0.252	0.748	1.764	3.067	7.232	1.319	0.560	3.112
8	4.4	0.207	0.793	1.656	3.489	7.286	1.313	0.629	2.742
9	4.5	0.170	0.830	1.530	3.735	6.885	1.270	0.689	2.341
10	4.6	0.139	0.861	1.390	3.961	6.394	1.197	0.741	1.932
計 Σ					22.320	53.363	9.864	4.126	25.563

$$Dab = \Sigma f_1^2 \Sigma f_2^2 - (\Sigma f_1 f_2)^2 = 4.126 \times 25.563 - (9.864)^2 = 8.174$$

$$a = \frac{\Sigma f_1^2 \cdot \Sigma f_2 y - \Sigma f_1 f_2 \cdot \Sigma f_2 y}{Dab} = \frac{25.563 \times 22.320 - 9.864 \times 53.363}{8.174} = 5.407$$

$$b = \frac{\Sigma f_2^2 \cdot \Sigma f_1 y - \Sigma f_1 f_2 \cdot \Sigma f_1 y}{Dab} = \frac{4.126 \times 53.363 - 9.864 \times 22.320}{8.174} = 0.001$$

$$h = b/a = 0.001/5.407 = 0.00018 \approx 0$$

以上の計算の結果より $K_1 = 0.197$ (1/日) とすることができ。

2) 対数差法

酸素消費量の測定間隔を等しくとり、最小自乗法により計算する方法で K_1 , L_0 は次式から得ることができる。

$$K_1 = \frac{6}{n(n^2 - 1)} [(n+1) \Sigma (\ln dt) - 2 \Sigma (t \ln dt)] \quad (3.29)$$

$$L_0 = \frac{\Sigma (1 - e^{-K_1 t}) y_t}{\Sigma (1 - e^{-K_1 t})^2} \quad (3.30)$$

ここに、 dt : $(t-1)$ 日目から t 日目までの酸素消費量

y_t : t 日目までの酸素消費量

y_{t-1} : $(t-1)$ 日目までの酸素消費量

n : 測定回数

計算表

測定値		計算値			
t	y_t	y_{t-1}	dt	$\ln dt$	$t \ln dt$
1	1.1	0	1.1	0.095	0.095
2	1.8	1.1	0.7	-0.357	-0.713
3	2.4	1.8	0.6	-0.511	-1.532
4	2.9	2.4	0.5	-0.693	-2.773
5	3.3	2.9	0.4	-0.916	-4.581
6	3.7	3.3	0.4	-0.916	-5.498
7	4.1	3.7	0.4	-0.916	-6.414
8	4.4	4.1	0.3	-1.204	-9.632
9	4.5	4.4	0.1	-2.303	-20.723
10	4.6	4.5	0.1	-2.303	-23.026
Σ(合計)				-10.024	-74.797

$$K_1 = \frac{6}{n(n^2 - 1)} [(n+1) \Sigma (\ln dt) - 2 \Sigma (t \ln dt)]$$

$$= \frac{6}{10(10^2 - 1)} [(10 + 1)(-10.024) - 2(-74.797)]$$

$$= \frac{6}{990} [-110.264 + 149.594] = 0.238 \text{ (1/日)}$$

よって, $K_1 = 0.238$ となる。

計算表

実測値		計算値		
t	y	$(1 - e^{-K_1 t})$	$(1 - e^{-K_1 t})^2$	$(1 - e^{-K_1 t})yt$
1	1.1	0.212	0.045	0.233
2	1.8	0.379	0.144	0.682
3	2.4	0.510	0.260	1.224
4	2.9	0.614	0.377	1.781
5	3.3	0.696	0.484	2.297
6	3.7	0.760	0.578	2.812
7	4.1	0.811	0.658	3.325
8	4.4	0.851	0.724	3.744
9	4.5	0.883	0.780	3.974
10	4.6	0.907	0.823	4.172
Σ			4.872	24.244

$$L = \frac{\Sigma(1 - e^{-K_1 t})yt}{\Sigma(1 - e^{-K_1 t})^2} = \frac{24.244}{4.872} = 4.976$$

したがって,

$$K_1 = 0.238 \text{ (1/日)}, L_0 = 4.98 \text{ (mg/l)}$$

となる。

3) 傾斜法

(3.19) 式 $y = L_0(1 - e^{-K_1 t})$ の右辺カッコの中のマクローリン級数展開と二項定理の近似式から次式を得ることができる。

$$\left(\frac{t}{y}\right)^{1/3} = \frac{1}{(K_1 L_0)^{1/3}} + \frac{(K_1)^{2/3}}{6 L_0^{1/3}} \cdot t \quad (3.31)$$

(3.31) 式は縦軸 $(t/y)^{1/3}$, 横軸 t の一次式となり, 縦軸切片と勾配から K_1 , L_0 を求めることができる。

$$Y = (t/y)^{1/3} \quad X = t$$

$$a = \frac{1}{(K_1 L_0)^{1/3}} \quad b = \frac{(K_1)^{2/3}}{6 L_0^{1/3}}$$

とすると, (3.31) 式は次式となる。

$$Y = a + b \cdot X \quad (3.32)$$

最小自乗法により一次回帰式 (3.32) 式の係数 a , b は次式より求めることができる。

$$a = \frac{1}{n} (\Sigma Y - b \Sigma X) \quad (3.33)$$

$$b = \frac{\Sigma(X \cdot Y) - \frac{1}{n} \Sigma X \cdot \Sigma Y}{\Sigma X^2 - \frac{1}{n} (\Sigma X)^2} \quad (3.34)$$

計算表

実測値		計算値		
X [t]	y	Y [$(t/y)^{1/3}$]	$X \cdot Y$ [$t(t/y)^{1/3}$]	X^2 [t^2]
1	1.1	0.969	0.969	1
2	1.8	1.036	2.072	4
3	2.4	1.077	3.231	9
4	2.9	1.113	4.452	16
5	3.3	1.149	5.745	25
6	3.7	1.175	7.050	36
7	4.1	1.195	8.365	49
8	4.4	1.221	9.768	64
9	4.5	1.260	11.340	81
10	4.6	1.295	12.950	100
55		11.490	65.942	385

$$a = \frac{1}{10} (11.49 - 0.0333 \cdot 55) = 0.966$$

$$b = \frac{65.942 - 1/10 \cdot 55 \cdot 11.490}{385 - 1/10 \cdot 3025}$$

$$= \frac{2.747}{82.5} = 0.033296$$

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{1}{(L_0 K_1)^{1/3}} \\ b &= \frac{K_1^{2/3}}{6 L_0^{1/3}} \end{aligned} \right\} \rightarrow \begin{aligned} K_1 &= \frac{6b}{a} \\ L_0 &= \frac{1}{K_1 \cdot a^3} \end{aligned}$$

$$K_1 = \frac{6 \times 0.0333}{0.966} = 0.20683 \text{ (1/日)}$$

$$L_0 = \frac{1}{0.207 \times 0.966^3} = 5.359$$

したがって,

$$K_1 = 0.207 \text{ (1/日)}, L_0 = 5.36 \text{ (mg/l)}$$

となる。

4) 間差法

(3.19) 式 $y = L_0(1 - e^{-K_1 t})$ は t 日目と $(t-1)$ 日

日にそれぞれ成立するから次式を得ることが出来る。

$$y_t = L_0 (1 - e^{-K_1 t}) \quad (3.35)$$

$$y_{t-1} = L_0 (1 - e^{-K_1 (t-1)}) \quad (3.36)$$

ここに y_t : t 日目までの酸素消費量

y_{t-1} : $(t-1)$ 日目までの酸素消費量

さらに (3.35), (3.36) 式より次式が得られる。

$$y_t = L_0 (1 - e^{-K_1 t}) + y_{t-1} e^{-K_1} \quad (3.37)$$

したがって、縦軸を y_t , 横軸を y_{t-1} とすれば勾配 = e^{-K_1} , 縦軸切片 = $L_0 (1 - e^{-K_1})$ である直線が得られる。この勾配と切片から K_1 , L_0 が求められる。

$y = y_t$, $x = y_{t-1}$, $a = L_0 (1 - e^{-K_1})$, $b = e^{-K_1}$ とすると, (3.37) 式は (3.32) 式と同じ次式になる。

$$Y = a + bX \quad (3.32)$$

計算表

実測値			計算値	
t	y_t	y_{t-1}	$X \cdot Y$	X^2
1	1.1	0	0	0
2	1.8	1.1	1.98	1.21
3	2.4	1.8	4.32	3.24
4	2.9	2.4	6.96	5.76
5	3.3	2.9	9.57	8.41
6	3.7	3.3	12.21	10.89
7	4.1	3.7	15.17	13.69
8	4.4	4.1	18.04	16.81
9	4.5	4.4	19.80	19.36
10	4.6	4.5	20.70	20.25
Σ	32.8	28.2	108.75	99.62

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{1}{n} (\Sigma Y - b \Sigma X) \\
 &= \frac{1}{10} (32.8 - 0.809 \cdot 28.2) = 0.99862 \\
 b &= \frac{\Sigma(X \cdot Y) - \frac{1}{n} \Sigma X \cdot \Sigma Y}{\Sigma X^2 - \frac{1}{n} (\Sigma X)^2} \\
 &= \frac{108.75 - 1/10 \cdot 28.2 \cdot 32.8}{99.62 - 1/10 \cdot (28.2)^2} \\
 &= \frac{16.254}{20.096} = 0.8088
 \end{aligned}$$

$$a = L_0 (1 - e^{-K_1}) = 0.999$$

$$b = e^{-K_1} = 0.809$$

上式より

$$K_1 = 0.211 \text{ (1/日)}, L_0 = 5.25 \text{ (mg/l)}$$

となる。

5) 作図法

まず, 次式が成立する。

$$y = L_0 - L \quad (3.38)$$

ここに, y : 任意の時間 t までに消費された酸素消費量

L_0 : 初期の最終BOD

L : 任意の時間 t におけるBOD

(3.38) 式に (3.37) 式 $L = L_0 e^{-K_1 t}$ を代入して微分すれば次式が得られる。

$$\frac{dy}{dt} = K_1 L_0 - K_1 y \quad (3.39)$$

脱酸素係数測定 of BOD ふ卵瓶の溶存酸素消費量曲線から (dy/dt) を計算し, y に対し (dy/dt) をプロットすれば勾配 $(-K_1)$, 横軸切片 (L_0) の直線が得られる。この勾配, 横軸切片から K_1 , L_0 を求める。

$$Y = \frac{dy}{dt}, x = y, a = K_1 L_0, b = -K_1$$

とすると (3.39) 式は (3.32) 式と同じ次式となる。

$$Y = a + bX \quad (3.32)$$

計算表

実測値		計算値		
t	X [y]	Y [dy/dt]	$X \cdot Y$	X^2
1	1.1	0.90	0.990	1.21
2	1.8	0.65	1.170	3.24
3	2.4	0.55	1.320	5.76
4	2.9	0.45	1.305	8.41
5	3.3	0.40	1.320	10.89
6	3.7	0.40	1.480	13.69
7	4.1	0.35	1.435	16.81
8	4.4	0.20	0.880	19.36
9	4.5	0.10	0.450	20.25
10	4.6	0.10	0.460	21.16
Σ	32.8	4.10	10.81	120.78

$$a = \frac{1}{n} (\Sigma Y - b \Sigma X)$$

$$= \frac{1}{10} (4.10 - (-0.20) \cdot 32.8) = 1.066$$

$$b = \frac{\Sigma XY - \frac{1}{n} \Sigma X \cdot \Sigma Y}{\Sigma X^2 - \frac{1}{n} (\Sigma X)^2}$$

$$= \frac{10.81 - 1/10 \cdot 32.8 \cdot 4.10}{120.78 - 1/10 \cdot 1075.84}$$

$$= \frac{-2.638}{13.196} = -0.1999$$

$$a = K_1 L_0 = 1.066, \quad b = -K_1 = -0.200$$

上式より

$K_1 = 0.200$ (1/日), $L_0 = 5.33$ (mg/l) となる。

6) 計算方法の違いによる計算結果の比較

前述のように、5つの計算方法により、実測値を用いて計算した結果、 K_1 , L_0 の値は表-3・4のようになった。

表-3・4 K_1 , L_0 の計算結果

計算方法	K_1	L_0
最小自乗法	0.197	5.4
対数差法	0.238	5.0
傾斜法	0.207	5.4
間差法	0.211	5.3
作図法	0.200	5.3

3.2.2 BOD反応に関する温度補正係数

BOD反応は生物学的反応のため温度による影響を受ける。BODの脱酸素係数 K_1 に対する温度の影響は一般に次式で表わされる。

$$K_1^T = K_1^{20} \theta^{T-20} \quad (3.40)$$

ここに、 K_1^T : $T^\circ\text{C}$ のときの K

K_1^{20} : 20°C のときの K

θ : 温度補正係数

T : 温度 ($^\circ\text{C}$)

両辺の対数をとると、

$$\ln \frac{K_1^T}{K_1^{20}} = (T-20) \ln \theta \quad (3.41)$$

縦軸を $\ln \frac{K_1^T}{K_1^{20}}$, 横軸を $(T-20)$ とすると、勾配 $\ln \theta$ の直線が得られる。

温度補正係数 θ を求める場合、通常10, 15, 20, 25°C における脱酸素係数 K_1 を実測し、(3.41)式の関係から計算により求める。

各水温における K_1 が表-3・5のように求まったとし、計算する。 $Y = \ln \frac{K_1^T}{K_1^{20}}$, $X = (T-20)$, $a = \ln \theta$ とすると、次式が得られる。

$$Y = aX \quad (3.42)$$

表-3・5 各水温における K_1 の値

温度($^\circ\text{C}$)	10	15	20	25
脱酸素係数 K_1	0.131	0.167	0.211	0.266

最小自乗法により、(3.42)式の係数 a は次式より求めることができる。

$$a = \frac{\Sigma X \cdot Y - \frac{1}{n} \Sigma X \cdot \Sigma Y}{\Sigma X^2 - \frac{1}{n} (\Sigma X)^2} \quad (3.43)$$

計算表

実測値		計算値			
t	K_1	X $(T-20)$	Y $\ln \frac{K_1^T}{K_1^{20}}$	$X \cdot Y$	X^2
10	0.131	-10	-0.477	4.77	100
15	0.167	-5	-0.234	1.17	25
20	0.211	0	0	0	0
25	0.266	5	0.232	1.16	25
Σ		-10	-0.479	7.10	150

$$a = \frac{\Sigma X \cdot Y - \frac{1}{n} \Sigma X \cdot \Sigma Y}{\Sigma X^2 - \frac{1}{n} (\Sigma X)^2}$$

$$= \frac{7.10 - 1/4 (-10) (-0.479)}{150 - 1/4 (-10)^2}$$

$$= 0.04722$$

$$\ln \theta = 0.0472$$

$$\theta = 1.048$$

3.2.3 BODの減少係数

河川における自浄作用とは河川に流入した汚濁物質が、流下に伴ってその濃度の減少する現象をさし、そ

の要因として希釈、拡散、沈殿等の物理的作用と酸化・還元、吸着、凝集などの化学的作用、および生物的作用がある。これらに伴って、有機物が減少する現象は一般に次式で表わされる。

$$-\frac{dL}{dt} = -K_r L \quad (3.44)$$

ここに、 L ：最終BOD濃度 (mg/l)

t ：流下に伴う時間 (日)

K_r ：BODの減少係数 (1/日)

(3.44)式は流下に伴う拡散は無視している。本式はBODの減少速度を表わし、分解及び沈殿などを表わした速度係数 K_r は自浄係数とも呼ばれ、この値が大きいほど自浄能力が大きい。

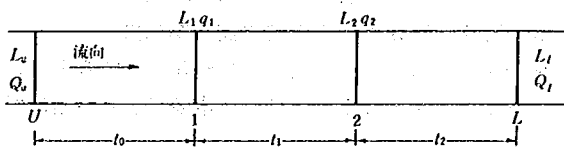
(3.44)式を積分すると次式が得られる。

$$L = L_0 e^{-K_r t} \quad (3.45)$$

ここに、 L_0 ：初期の最終BOD

BOD減少係数は河川の状態、汚濁源の状態によって大きく変化するので、自浄作用の調査を行なって定めるのが原則である。

いま、下図に示すような区間での自浄作用調査を行った場合のBOD減少係数 K_r の計算方法を述べる。ただし、河床からのBODの溶出はないものとする。



L_0, L_1 ：u点、1点でのBOD(最終BOD) Q_0, Q_1 ：u点、1点での流量
 L_1, L_2 ：流下支川1、2のBOD(最終BOD) Q_1, Q_2 ：流下支川1、2の流量
 t_0, t_1, t_2 ：流下時間

1) 流量収支が合う場合 ($Q_L = Q_0 + q_1 + q_2$)

支川1が合流する直前の水質 L_1' は式(3.45)より

$$L_1' = L_0 e^{-K_r t_0} \quad (3.46)$$

支川1が合流して横断方向に完全に混合したとすれば、その水質 L_1 は

$$L_1 = \frac{Q_0 L_1' + q_1 L_1}{Q_0 + q_1} \quad (3.47)$$

支川2が合流する直前の水質 L_2' は

$$L_2' = L_1 e^{-K_r t_1} \quad (3.48)$$

支川2が合流した後の水質 L_2 は、同様にして

$$L_2 = \frac{(Q_0 + q_1) L_2' + q_2 L_2}{Q_0 + q_1 + q_2} \quad (3.49)$$

したがって、L地点での水質 L_L は次のようになるはずである。

$$L_L = L_2 e^{-K_r t_2}$$

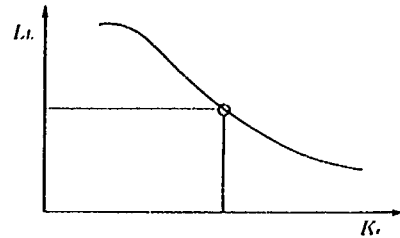


図-3.13 $L_L - K_r$ 曲線

K_r を仮定して順次計算を進めて L_L を計算して実測の L_L と比較し、両者が一致するような K_r を求める K_r とする。実際の計算に当たっては、 K_r の幾つかの値について L_L を計算し、右のような $L_L - K_r$ 曲線を作成して実測の L_L に対応する K_r を求めるのが便利である。

2) 下流側の流量が大きい場合 ($Q_L > Q_0 + q_1 + q_2$)

これは地下水の流入がある場合で、その量 ΔQ は $\Delta Q = Q_L - (Q_0 + q_1 + q_2)$ となる。地下水の流入は支川の流入と同じに取り扱うことができる。このためにはその水質(最終BOD)を知る必要があり、流入地下水の代表となるような場所にある井戸を選択してそのBODを測定し、計算に使用する。

地下水の流入地点が特定出来る場合には、その地点から流量 ΔQ 、水質 L なる支川の流入があるとして、1の場合と同様に計算する。流入地点が不明確の場合には、 ΔQ を対象区間内の小区間ごとの距離比で比例配分し、各小区間の下流端にまとめて入れることとする。例えば、(3.47)式を次のように修正して計算する。

$$L = \frac{Q_0 L_1 + q_1 L_1 + \Delta Q L}{Q_0 + q_1 + \Delta Q} \quad (3.50)$$

ここで、 ΔQ は X_{u-1} を地点u~L間の区間距離、 X_{u-1} を地点uと支川1合流点間の距離として

$$\Delta Q_A = \Delta Q \times \frac{X_{u-1}}{X_{u-L}} \quad (3.51)$$

で表わされる。

なお、 ΔQ が Q_0 又は、 Q_L に比べて非常に小さなきには、 Q_0 と Q_L のうち信頼性がより低い方から ΔQ を差し引いて流量収支を表わし、例えば、 $Q_0 - \Delta Q$ を Q_0 として計算してもよい。

3) 下流側の流量が小さい場合 ($Q_L < Q_0 + q_1 + q_2$)

これは河川水の伏没がある場合で、伏没流量 $\Delta Q'$ は

$$\Delta Q' = Q_0 + q_1 + q_2 - Q_L \quad (3.52)$$

となる。

地下水への伏没は取水と同じと考えるが、取水によっては河川水の水質は変化しないので、取水地点(伏没地点)で区間を区切り、その地点で流量が減少すると

して計算を行なえばよい。伏没地点が不明確な場合は、伏没流量 $\Delta Q'$ を対象区間内の小区間ごとに距離比で比例分配し、各小区間の下流端でまとめて伏没させる。例えば、(3.47)式を次のように修正して計算する。

$$L = \frac{(Q - \Delta Q'_A) L_1' + q_1 l_1}{(Q_u - \Delta Q'_A) + q_1} \quad (3.53)$$

ここで、 $\Delta Q'_A$ は

$$\Delta Q'_A = \Delta Q' \times \frac{X_{u-1}}{X_{u-L}} \quad (3.54)$$

である。

なお、 $\Delta Q'$ が Q_u 又は、 Q_L に比べて非常に小さいときには、 Q_u 又は Q_L のうち信頼性がより低い方に $\Delta Q'$ を加えて流量収支をあわせ、例えば、 $Q_u + \Delta Q'$ を Q_u として計算してもよい。

河川水中でのBODの減少には好気性細菌による酸化のほかに、河床に付着している微生物膜による吸着、河床への沈殿なども関与しているので、実験室で測定した脱酸素係数(K_1)よりもかなり大きいこともあることが知られてきた。さらに、脱酸素係数の大きさをきめる因子は主として水中に含まれている、有機性汚濁物質が生物学的に酸化され易いか否かということであるのに反し、河川水中でのBOD減少係数(K_r)には、沈殿によって除去される可能性があるBODの占める割合、河床の微生物膜の発達状況、流速、水深なども関係している。建設省技術研究会での報告によれば K_r/K_1 と種類の因子との相関は図-14・3~4のようであ

った。これらの図から K_r/K_1 と各因子との間の明らかな相関は見られず、 K_r/K_1 と水深との間に若干の関連性が認められる程度であるが、いずれにしても K_1 に比べてはるかに大きい K_r が観測されることがある。一般には、実験室で測定した脱酸素係数 K は0.1~0.6(1/day)程度(清浄な河川では小さいのが通常である。)であるのに対し、 K_r は K_1 のオーダーから10に近い値も観測されている。

K_r が K_1 に比べて非常に大きくなるのは、主として沈殿による影響と考えられるため、現況の調査によって大きな K_r の値が観測された場合、将来の水質予測についても大きな K_r の値を用いるのは必ずしも適当ではない。例えば、現在では下水道がほとんど整備されておらず、将来下水道が整備されたとき等の水質予測を行なう場合は、現況の値を用いてはならない。というのは、下水処理等によって沈殿除去可能な汚濁物質はほとんど除去されるため、沈殿によって減少するBODは非常に小さくなるはずであり、また処理は通常生物処理が採用されるため、溶解性物質によるBODの中で、生物学的に酸化され易いものは大部分除去されており、処理水中のBODは好気性細菌による酸化が遅いもののみが残っていると想定されるからである。このような場合には $K_r = K_1$ としておくのが安全である。

3.2.4 硝化に伴うBODの脱酸素係数

河川水中の有機物を生物学的に酸化分解するときに微生物が要求する酸素の量は、炭素源による酸素消費

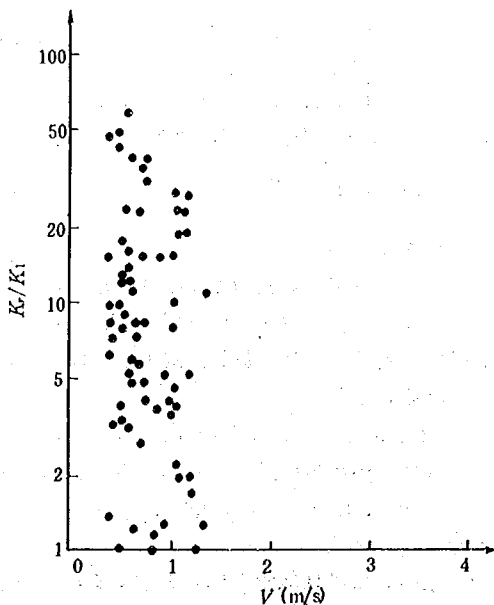


図-3・14 K_r/K_1 と平均流速(V)の関係

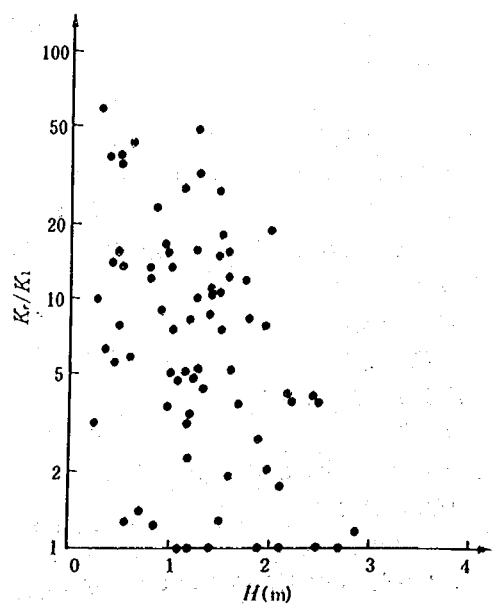


図-3・15 K_r/K_1 と平均水深(H)の関係

量と窒素源による酸素消費量であることは前述した通りである。この場合の有機物の酸化は一次反応として考えられ次式で表わすことができる。

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 L = -(K_1^c + K_1^N) L \quad (3.55)$$

ここに、 L ：任意の時間 t におけるBOD

t ：時間

K_1 ：BODの脱酸素係数

K_1^c ：炭素源によるBODの脱酸素係数

K_1^N ：窒素源によるBODの脱酸素係数

(3.55)式を積分すると次式となる。

$$L = L_0 e^{-(K_1^c + K_1^N)t} \quad (3.56)$$

ここに、 L_0 ：初期の最終BOD

硝化に伴うBODの脱酸素係数 K_1^N は次式より求めることができる。

$$K_1^N = K_1 - K_1^c \quad (3.57)$$

K の求め方については、3.2.1 BODの脱酸素係数において詳しく述べたところである。 K_1^c は炭素源による脱酸素係数であり、硝化を抑制したBOD試験を行ない、この試験の酸素消費曲線より求めることができる。硝化抑制剤として幾つかの方法が考えられるが、ATU (Allylthiourea) を試験溶液に0.5mg/l程度添加する方法が一般的である。 K_1^c の算出にあたってはATU-BOD試験で求めた酸素消費量から計算する。

次に実測値、表-3.6のデータを用いた計算例を示す。

表-3.6 酸素消費量測定結果

t	1	2	3	4	5	6	7	8
BOD	2.08	3.36	4.00	4.67	5.23	5.74	6.12	6.52
ATUBOD	1.30	2.08	2.65	3.12	3.53	3.94	4.23	4.49

表-3.4のBOD, ATU-BODの結果を用い、 K_1 , K_1^c を傾斜法を用い、計算する。

$$K_1 = 0.315 \quad K_1^c = 0.269$$

$$\therefore K_1^N = K_1 - K_1^c = 0.315 - 0.269 = 0.046$$

3.2.5 再曝気係数

河川水中の溶存酸素濃度は脱酸素反応と再曝気反応を知ることにより求めることができ、一般に次式で表わされる。

$$\frac{dD}{dt} = K_1 L - K_2 L \quad (3.58)$$

ここに、 D ：任意の時間 t における溶存酸素不足量

L ：任意の時間 t におけるBOD

K_1 ：脱酸素係数

K_2 ：再曝気係数

溶存酸素不足量の変化速度は(3.58)式のように2つの速度を合成した形で表わすことができる。 $K_1 L$ は有機物を酸化するときに酸素を消費する速度であり、 $K_2 D$ は再曝気の速度である。また、河川水中の有機物濃度は次式で表わされる。

$$L = L_0 e^{-K_1 t} \quad (3.59)$$

ここに、 L ：任意の時間 t におけるBOD

L_0 ：初期のBOD

t ：時間

K_1 ：BODの減少速度係数

(3.59)式を(3.58)式に代入し積分すると、次式が得られる。

$$D = \frac{K_1 L_0}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 t} - e^{-K_2 t}) + D_0 e^{-K_2 t} \quad (3.60)$$

ここに、 D_0 ：初期の溶存酸素不足量

また、 D 及び D_0 は溶存酸素不足量であり、次式で表わすことができる。

$$D = C_s - C \quad (3.61)$$

$$D_0 = C_{s0} - C_0 \quad (3.62)$$

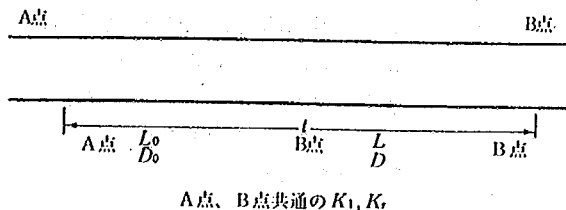
ここに、 C_s ：任意の時間 t における飽和溶存酸素濃度

C ：任意の時間 t における溶存酸素濃度

C_{s0} ：初期の飽和溶存酸素濃度

C_0 ：初期の溶存酸素濃度

再曝気係数 K_2 を求める場合は、流入のない河川区間において次に示すデータを得ることにより(3.60)式より求めることができる。



次に実測値を用いた計算例を示す。現地調査により得られるデータを表-3.7に示す。

表-3.7 現地調査結果

地点	水温	大気圧	BOD	DO	K_1	K_2
A	20°C	1 atm	4.6	5.8	0.21	0.26
B	20°C	1 atm	3.8	6.5	0.21	0.26

なお、A、B間の流下時間は、1、2日であった。
水温20°C、1 atmにおける飽和溶存酸素濃度は8.84mg/lであり、D及びD₀は次のようになる。

$$D = 8.84 - 6.5 = 2.34$$

$$D_0 = 8.84 - 5.8 = 3.04$$

現地調査より得られたデータを(3.60)式に代入すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} 2.34 &= \frac{(0.21) \cdot (4.6)}{K_2 - 0.26} (e^{(-0.26)(1.2)} - e^{(-K_2)(1.2)}) + 3.04 \cdot e^{(-K_2)(1.2)} \\ &= \frac{0.966}{K_2 - 0.26} (0.732 - e^{(-K_2)(1.2)}) + 3.04 \cdot e^{(-K_2)(1.2)} \end{aligned}$$

ここで、K₂に任意の値を代入し、この式を解くことによりK₂を求める。

$$K_2 \text{に} 0.40 \text{を代入すると } D = 2.66$$

$$K_2 \text{に} 0.45 \text{を代入すると } D = 2.52$$

$$K_2 \text{に} 0.50 \text{を代入すると } D = 2.41$$

$$K_2 \text{に} 0.55 \text{を代入すると } D = 2.29$$

となり、K₂は0.50~0.55の間となることがわかる。
次にK₂に0.53を代入すると D=2.34となり、K₂=0.53が求まる。

以上のように現地調査結果より求める方法の他に、計算によりK₂を求める方法がいくつかある。その代表的な計算式を以下に示す。

1) Streeter-Phelpsの式

$$K_2 = \frac{CU \left(1 + \frac{1}{y - 1.17}\right)}{H^2} \quad (3.63)$$

ここに、K₂:再曝気係数 (1/s)

C:定数(粗度と勾配から求める)

U:平均流速 (m/s)

y:水位から5フィート上昇するときの平均流速増加分

H:水深 (m)

2) Dobbinsの式

$$K_2 = \frac{C_A \sqrt{C_s D \alpha}}{(C_A)^{3/2} H} \coth \sqrt{C_s \phi / C_A D} \quad (3.64)$$

ここに、K₂:再曝気係数 (1/s)

H:水深 (m)

D:酸素ガス分子拡散係数 (m²/s)

C_A:1.0+0.3Fr², Fr:フルード数

C_s:14.3 α:ρ(ν_ε)^{3/4}σ⁻¹

φ:ρμ^{3/4}ε^{1/4}σ⁻¹ (m³/s)

$$C:0.65+15000(\nu^3/E)^{1/2}H^{-2}$$

$$\varepsilon:IUg \text{ (m}^3/\text{s}^3) \quad \rho:\text{密度 (kg/m}^3)$$

$$\nu:\text{動粘性係数 (m}^2/\text{s)}$$

$$\sigma:\text{表面張力 (dyne/m)}$$

$$I:\text{エネルギー勾配}$$

$$U:\text{平均流速 (m/s)}$$

$$g:\text{重力の加速度 (m/s}^2)$$

3) 村上の式

$$K_2 = 8.55 \frac{g^{3/8} \rho^{1/2} D^{1/2}}{\sigma^{1/2}} \cdot \frac{n^{3/4} U_0^{9/8}}{HR^{1/2}} \cdot \nu^{3/8} \quad (3.65)$$

ここに、K₂:再曝気係数 (1/s)

g:重力の加速度 (m/s²)

ρ:密度 (kg/m³)

ν:動粘性係数 (m²/s)

D:酸素ガス分子拡散係数 (m²/s)

σ:表面張力 (kg/s²)

n:マンニングの粗度係数 (m^{1/2}/s)

U:平均流速 (m/s)

H:水深 (m)

R:径深 (m)

また、水温20°Cにおける一般式として次式を導いている。

$$g:9.8 \text{ (m/s}^2) \quad \rho:0.998 \times 10^3 \text{ (kg/m}^3)$$

$$\nu:1.0105 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$D:2.037 \times 10^{-9} \text{ (m}^2/\text{s)}$$

$$\sigma:7.275 \times 10^{-2} \text{ (kg/s}^2)$$

とすれば

$$K_2 = 22.56 \frac{n^{3/4} U_0^{9/8}}{H^{3/2}}$$

4) 栗谷の式

$$K_L = \alpha g^{3/8} D^{1/2} U^{3/4} \nu^{-1/4} H^{-1/4} \quad (3.66)$$

ここに、K_L:液膜係数 (m/s)

α:係数 (=1.2×10⁻³)

U:摩擦速度 (m/s)

他の記号については村上の式で説明しているものと同じである。

5) Banksの式(湖沼等に適用)

$$K_L = 10^{-6} (8.43 U_{10}^{1/2} - 3.67 U_{10} + 0.43 U_{10}^2) \quad (3.67)$$

ここに、K_L:液膜係数 (m/s)

U₁₀:地上10mにおける風速 (m/s)

K_LとK₂の間には次の関係がある。

$$K_2 = K_{La} = K_L \frac{A}{V} = \frac{K_L}{H} \quad (3.68)$$

3.3 数理解析の方式

3.3.1. 拡散方程式の誘導⁵⁹⁾

流体中の物質を移動させる作用(拡散)は、大別して、分子拡散(拡散物質及び流体分子のブラウン運動に起因する拡散)、乱流拡散(流体の渦運動に起因する拡散)及び移流分散(流れの速度勾配及び拡散物質の濃度勾配に起因する拡散)に分けることができる。また、このような拡散現象を取り扱う方法としては、小流体塊の移動を追跡して、その統計的な振る舞いから拡散現象を考えるLagrange的な方法と、物質の連続条件に基づいた拡散方程式を取り扱うEuler的な方法とがある。ここでは、後者の方法に従って、一次元の拡散方程式の誘導を行なうものとする。

今、断面積 A が流下方向(x 軸)に変化する開水路を考え、この開水路において濃度 C の拡散物質が x 方向の流速 u に完全に乗り切って下流方向に伝搬されているものとする。このとき、 x 軸に垂直な単位面積を単位時間に輸送される質量のフラックスは、次のようになる。

$$\frac{q_x}{\rho} = cu - D_m \frac{\partial c}{\partial x} \quad (3.69)$$

ここで、 q_x は x 方向のフラックス、 ρ は流体の密度、 D_m は分子拡散係数である。

さらに、流速 u 及び濃度 c を、各断面における断面平均量(U, C)、断面平均量からの偏り($\bar{u}, \bar{c}$)及び時間的変動量(u', c')に分けるものとする、任意の時刻における任意の場所での流速 u 及び濃度 c は、次のように表わすことができる。

$$\begin{aligned} u &= U + \bar{u} + u' \\ c &= C + \bar{c} + c' \end{aligned} \quad (3.70)$$

式(3.70)を式(3.71)に代入して、さらにその時間平均(—で表わす)をとると、

$$\begin{aligned} \frac{\bar{q}_x}{\rho} &= \overline{(C + \bar{c} + c')(U + \bar{u} + u')} \\ &\quad - D_m \frac{\partial}{\partial x} (C + \bar{c} + c') \\ &= (C + \bar{c})(U + \bar{u}) + \overline{c'u'} \\ &\quad - D_m \frac{\partial}{\partial x} (C + \bar{c}) \end{aligned} \quad (3.71)$$

となり、さらに式(3.71)について断面平均($\langle \rangle$ で表わす)をとれば、

$$\begin{aligned} \frac{\langle \bar{q}_x \rangle}{\rho} &= CU + \langle \bar{c}\bar{u} \rangle + \langle \overline{c'u'} \rangle \\ &\quad - D_m \frac{\partial C}{\partial x} \end{aligned} \quad (3.72)$$

が得られる。

式(3.72)において右辺の第2、第3及び第4項は、いずれも x 軸に垂直な単位面積を単位時間に拡散する量を示しており、それぞれ、移流分散、乱流拡散及び分子拡散を表わす項に対応している。ここで第2、第3項についてそれぞれ移流分散係数 D_L 、乱流拡散係数 D_t を導入すれば次のように表わすことが出来る。

$$-\langle \bar{c}\bar{u} \rangle = D_L \frac{\partial C}{\partial x}, \quad -\overline{c'u'} = D_t \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.73)$$

よって、式(3.72)は次のようになる。

$$\frac{\langle \bar{q}_x \rangle}{\rho} = CU - D_L \frac{\partial C}{\partial x} - \langle D_t \rangle \frac{\partial C}{\partial x} - D_m \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.74)$$

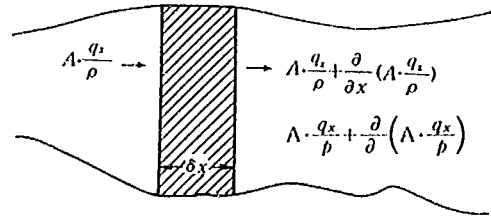


図-3.16 質量のフラックス

次に、この開水路で微小区間 δx だけ隔たった断面によって囲まれる領域 V を考える。この領域において、全断面を通じて流入、流出するフラックスは、図-3.16に示す通りである。さらに、この領域内で単位時間、単位体積について濃度 C に比例する物質の発生量 Cl があるとすれば、微小時間 δt における領域内の物質収支を考えることによって、次に示す物質保存の式が得られる。

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} = ClA - \frac{\partial}{\partial x} (A \frac{q_x}{\rho}) \quad (3.75)$$

式(3.75)に式(3.70)の関係を代入し、時間平均、断面平均をとると次のようになる。

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} = ClA - \frac{\partial}{\partial x} (A \frac{\langle \bar{q}_x \rangle}{\rho}) \quad (3.76)$$

さらに、式(3.76)に式(3.74)を代入し整理すると次式が得られる

$$\begin{aligned} \frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} \\ = \frac{\partial}{\partial x} \{ A (D_L + \langle D_t \rangle + D_m) \frac{\partial C}{\partial x} \} \\ + ClA \end{aligned} \quad (3.77)$$

ただし、ここで $Q=AC$ であり、 $\lambda > 0$ で物質の発生、 $\lambda < 0$ で物質の消滅を意味する。

式(3.77)は一次元の拡散方程式であるが、この式の右辺に示される拡散項には、先に述べた3つの拡散、すなわち、移流分散、乱流拡散及び分子拡散の効果が含まれている。しかしながら、通常の河川においては、 $\langle D_L \rangle$ 、 D_m は D_L に比較してはるかに小さい値をもつものである。 $(D_L + \langle D_L \rangle + D_m)$ を見かけ上の拡散係数 D_a として新たに定義すれば、一次元の拡散方程式は次のように表わすことが出来る。

$$\frac{\partial (AC)}{\partial t} + \frac{\partial (QC)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (D_a A \frac{\partial C}{\partial x}) + C \lambda A \quad (3.78)$$

さらに、 $A = \text{const.}$, $D_a = \text{const.}$, $U = \text{const.}$, $\lambda = 0$ とすれば、

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D_a \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.79)$$

となる。

3.3.2 拡散方程式の解⁵⁹⁾⁶⁰⁾

1) 解析解

拡散方程式が式(3.79)で表わされているような無限に細長い水路の中央において、ある物質(総量 M)を線状に瞬間投入する場合に、式(3.79)を解析的に解くことを考える。

まず、

$$\xi = x - Ut$$

として、式(3.79)の変数変換を行なうと次式が得られる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_a \frac{\partial^2 C}{\partial \xi^2} \quad (3.80)$$

また、この時、 $C(\xi, t)$ について初期条件及び境界条件は、次のように与えられる。

$$C(0, 0) = \infty \quad (3.81)$$

$$C(\xi, \infty) = 0 \quad (3.82)$$

$$A \int_{-\infty}^{\infty} C(\xi, t) d\xi = M \quad (3.83)$$

式(3.81)は、物質を投入した瞬間においては、その投入地点($\xi = 0$)で拡散は始まってなく、その濃度は無限大であるということの意味している。式(3.82)は、いずれの地点においても時間が経過すれば、濃度は0となるということの意味しており、さらに式(3.83)は、ある時刻に水路全体にわたり拡散物質を集めれば、その総量は投入量 M に等しいことを意味している。

以上の条件のもとに、式(3.80)を解けば次の解が得

られる。

$$C(x, t) = \frac{M}{2A \cdot \sqrt{\pi D_a t}} \exp \left\{ -\frac{(x - Ut)^2}{4 D_a t} \right\} \quad (3.84)$$

また、水路内において生成項 $C\lambda$ が存在する場合には式(3.83)で表わされる境界条件が、

$$\frac{A}{e^{-\lambda t}} \int_{-\infty}^{\infty} C(\xi, t) d\xi = M$$

となり、解は次のようになる。

$$C(x, t) = \frac{M}{2A \cdot \sqrt{\pi D_a t}} \exp \left[-\left\{ \frac{(x - Ut)^2}{4 D_a t} - \lambda t \right\} \right] \quad (3.85)$$

(2) 数値解

式(3.79)を差分表示することを考える。式(3.79)を差分化する場合、未知変数が既知変数により表示されているものを陽形式表示、また、未知変数を求める式の中に他の未知変数が含まれているものを陰形式表示という。陽形式表示では、未知変数が既知の変数のみによって表わされているため、既知の値を代入することにより、そのまま値を求めることができるが、陰形式表示では、未知変数が1つの差分式の中に複数個含まれているため、直接求めることができず、いくつかの式を連立して解かなければならない。

しかしながら、陽形式表示においては、計算安定性のうえから差分による格子間隔をせまくとする必要があるのに対し、陰形式表示では格子間隔広くとることができるという利点がある。さらに陰形式表示においては連立方程式を解くために一般に計算時間が長くなるという欠点があるが、これもまた、計算方法を工夫することによって、演算速度を速くすることも可能である。

式(3.79)を差分表示した場合、移流項(左辺第2項)の差分表示が不適切であると、あたかも拡散係数 D_a を大きく、或いは小さくしたのと同じような計算誤差が現れるが、この誤差を拡散係数の形で表わしたものを擬似拡散係数 D_N と呼んでいる。 D_N の大きさは、移流項の差分表示形式によって異なっており、陽形式、陰形式においてそれぞれ次のように与えられる。

$$\text{陽形式 } D_N = \frac{U \Delta x}{2} \left(1 - 2\gamma - \frac{U \Delta t}{\Delta x} \right) \quad (3.86)$$

$$\text{陰形式 } D_N = \frac{U \Delta x}{2} \left(1 - 2\gamma + \frac{U \Delta t}{\Delta x} \right)$$

ここで γ は差分の位置を表わすパラメータであり、 $\gamma =$

表-3・8 差分式的具体例

形式	スキーム	スキームの説明図
陽形式	Lax Wendroffのスキーム $C_i^{k+1} = (1 - U^2 \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2}) C_i^k + (U - \frac{\Delta t}{2\Delta x} + U^2 \frac{\Delta t^2}{2\Delta x^2}) C_{i-1}^k + (-U - \frac{\Delta t}{2\Delta x} + U^2 \frac{\Delta t^2}{2\Delta x^2}) C_{i+1}^k + E \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (C_{i+1}^k - 2C_i^k + C_{i-1}^k)$	
陰形式	村上のスキーム $C_i^{k+1} = C_i^k + U \frac{\Delta t}{\Delta x} (C_{i-1}^k - C_i^k) + \frac{E \Delta t}{\Delta x^2} (C_{i+1}^k - 2C_i^k + C_{i-1}^k)$	

$$E = D_a - D_N, T = k\Delta t, x = i\Delta x$$

◎: 求める点
○: 未知の点
●: 既知の点

0で後方差分, $\gamma = 1/2$ で中央差分, $\gamma = 1$ で前方差分となる。疑似拡散の補正を行なうためには, 条件として与える拡散係数 D_a の代わりに, $D_a - D_N$ を拡散係数として与えればよいわけであるが, これによって, 前方, 中央, 後方差分の区別がなくなり, いずれの差分表示においても差分式は唯一のものとなる。

式(3.79)の具体的な差分式の例としては種々のものが提案されているがその主なものとして, Lax Wendroffのスキームと村上のスキームを表-3・8に掲げる。

3.3.3 拡散係数の推定

1) トレーサー試験による方法

ある河川の調査区間において, その河川の横断面積 A , 拡散係数 D_a 及び平均流速 U が時間的・空間的に一定であると考えると, この区間を支配する拡散方程式及びその解析解は, それぞれ前述したように次式で表すことができる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} = D_a \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.79)$$

$$C(x, t) = \frac{M}{2A\sqrt{\pi D_a t}} \exp\left\{-\frac{(x - Ut)^2}{4D_a t}\right\} \quad (3.84)$$

今, $t = 0$ において調査区間の上流地点($x = 0$)から, 総量 M のトレーサー物質を瞬間的に投入し, 調査区間の下流地点($x = x_1$)においてトレーサー濃度の時系列変化を測定した結果, 図-3・17のような濃度変動が得られたとする。式(3.84)より

$$C_{\max} = C(x_1, x_1/U) = \frac{M}{2A\sqrt{\pi D_a (x_1/U)}}$$

であるから, 式(3.84)を変形して次式が得られる。

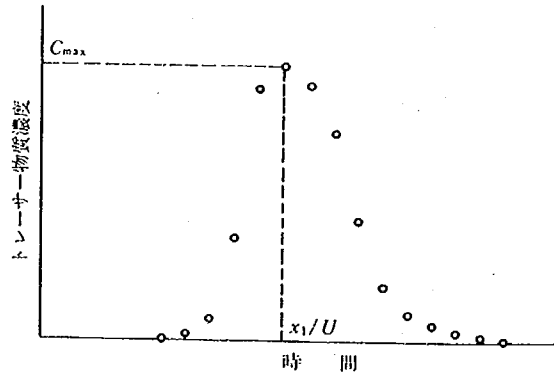


図-3・17 $x = x_1$ において測定されたトレーサー物質濃度変化

$$\frac{C}{C_{\max}} = \exp\left\{-\frac{(x - Ut)^2}{4D_a t}\right\}$$

さらに, $x = x_1$ として両辺の対数をとれば

$$\ln(C/C_{\max}) = -\frac{1}{D_a} \left\{ \frac{(x_1 - Ut)^2}{4t} \right\} \quad (3.86)$$

となる。

従って, 式(3.86)及び図-3・17の結果をもとにして縦軸に $\ln(C/C_{\max})$ を, 横軸に $\{(x_1 - Ut)^2/4t\}$ をプロットすれば, その回帰式の勾配($= -1/D_a$)により拡散係数 D_a を計算することができる。ここで, 平均流速 U は, トレーサー物質の流下距離を x_1 , 図-3・17における重心位置の時刻を t_1 とすれば次式で計算することができる。

$$U = x_1/t_1 = \frac{x_1}{\int_0^\infty C t dt / \int_0^\infty C dt} \quad (3.87)$$

実際の調査において本法により拡散係数 D_a を測定す

る場合においては調査区間の流況・河床条件以外にも、どんなトレーサー物質を使用するかということが問題となるが、その際、次に示すような条件を満足すべきである。

- (1) 流下途中に消滅したり、生成したりすることのない保存物質であること。
- (2) 河川水中に、はじめから多量に存在しないこと。

表-3・9 測定結果

時間(sec)	Li濃度(ppm)
200	0.00
300	0.01
400	0.13
450	0.67
500	1.03
550	1.35
600	1.20
650	0.95
700	0.76
750	0.60
800	0.43
900	0.25
1000	0.19
1100	0.10
1200	0.06
1300	0.05
1400	0.04
1500	0.03
1600	0.02
1700	0.01
1800	0.00

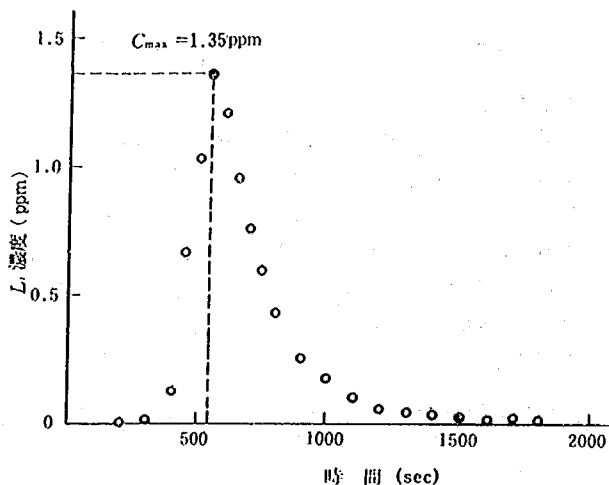


図-3・18 リチウム濃度の経時変化

- (3) 比重が流水の比重に近いこと。
- (4) 生態系に影響を与えないこと。

以下に、本法による拡散方程式の具体的な計算例を示す。

〔具体的計算例〕

今、横断面積 A 、平均流速 U 及び拡散係数 D_a が時間的・空間的に一定とみなせる河川において、拡散係数 D_a を推定するためにトレーサー調査を行った。上流側の投入点($x=0$)において、時刻 $t=0$ でトレーサー物質として塩化リチウム溶液を投入し、下流側の観測点($x=x_1=100\text{m}$)でリチウム濃度の変化を測定した(表-3・9及び図-3・18)。

まず、図-3・18の結果より式(3.87)を用いて平均流速 U を計算すると、

$$U = \frac{x_1}{\int_0^\infty C t dt / \int_0^\infty C dt} = \frac{x_1}{\sum_{i=1}^n C_i \Delta t / \sum_{i=1}^n C_i \Delta t}$$

$$= \frac{100}{278419/432} = 0.155\text{m/s}$$

となる。よって、 $C_{\max}=1.35\text{ppm}$ を用いて、 $\ln(C/C_{\max})$ 及び $\{(x_1-Ut)^2/4t\}$ を計算し(表-3・10)、さらに、これをプロットすると図-3・19が得られる。ただし、この計算においては、図-3・18のピーク後の濃度変化は、トレーサー投入時の状況(たとえば投入時間等)の影響を受けていると思われるため除外した。図-3・19において回帰式を求め、その勾配から拡散係数 D_a 計算すると、

$$(-1/D_a) = \frac{\ln(0.0054) - \ln(0.68)}{2.4 - 0.2}$$

$$= -2.198$$

$$\therefore D_a = 0.455\text{m}^2/\text{s}$$

が得られる。

2) 数値計算法

前項で述べた拡散方程式の数値解法は、平均流速や拡散係数をあらかじめ与え、それをもとに拡散物質濃度の時空間分布を計算するものであった。この方法を

表-3・10 計算結果

$C/C_{\max}$	$(x_1-Ut)^2/4t$
0.0074	2.385
0.096	0.903
0.496	0.508
0.763	0.253
1.0	0.099

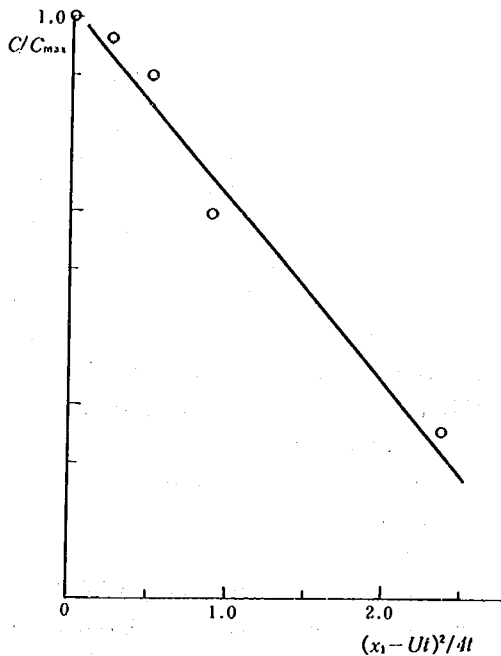


図-3-19 $C/C_{\max}$ と $(x_1 - Ut)^2/4l$ の関係

利用すれば、上流のある地点において拡散物質を瞬間投入、あるいは一定時間連続投入した場合に、下流の複数地点でその濃度時系列を測定することによって、拡散係数を逆推定することができる。

数値計算を行なうにあたって、初期条件は、各測定点における $t = 0$ での濃度の空間分布を用い、境界条件については、測定点のうち最上流点と最下流点における時系列データを利用するものとする。また、平均流速は式(3.87)と同様に各測定点における平均滞留時間より計算するものとし、求めるべき拡散係数については、適当な値を設定する。以上の条件のもとで、計算結果が中間地点において実際に測定したデータと最も適合するように繰り返し計算を行ない、最適のパラメータ(拡散係数)を決定する。最適化の手法としては、さまざまなものがあるが、測定データの精度によっては妥当な結果が得られない場合がありうる。しかしながら、拡散係数を求めるべき流れの状態が不等流である場合は、前述のトレーサー法のように等流状態における解析解にもとづいた方法では計算出来ないことになるが、本法では差分の取り方を工夫することにより計算することが出来る。

3.3.4 自然河川における汚濁解析

自然河川における汚濁解析について考える場合、感潮域と非感潮域とでは、その解析方法が大きく異なるが、ここでは、主に非感潮域における汚濁解析につい

て考えるものとする。

自然河川において汚濁解析を行なう場合として、本川に汚濁物質が支川を通して横流入している際に、その合流点よりも下流側の水質(汚濁物質の濃度)を予測するという場合が多い。その場合、もし、本川の流況特性が水深方向にのみ変化しているような場合には、前述した一次元の拡散方程式をもとにして調査・解析を行なえばよいが、自然河川の場合には、横方向(河幅方向)に流況特性が変化している場合が多く、実際に、流速や水質の非一様性は水深方向よりも、むしろ河幅方向に著しい場合が少なくない。従って自然河川を対象として汚濁解析を行なう場合には横拡散(河幅方向の拡散)を考慮しなければならない。

四倉⁶¹⁾によれば、図-3-20に示すような断面を有する自然河川において横拡散を考慮すべき場合には、支川からの流入が定常的(流入速度及び流入水質が時間的に一定)であり、かつ、本川の水深方向の流速、拡散係数及び汚濁物質濃度の変化が河幅方向に比べ無視出来るならば、質量保存の基礎式は次のように表わすことができる。

$$\frac{\partial C}{\partial x} = E_z \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \quad (3.88)$$

ここで、

$$q = \int_0^z u y dz \quad (3.89)$$

$$E_z = m_y h^2 \alpha D_z \quad (3.90)$$

D_z : 横拡散係数

h : 平均水深

α : ある断面における本川の流下方向の平均流速

C : 汚濁物質濃度

Q : 合流点より下流側の本川流量

q : 岸から河幅方向への累加流量

m_y : 計量係数(直線水路では $m_y = 1$)

であり、また、境界条件は、

$$q = 0, \text{ 又は } Q$$

$$E_z \frac{\partial C}{\partial y} = 0$$

となる。

式(3.88)の解析解は、汚濁物質が本川へ流入し、流入直後の乱れによる拡散の影響が消えた後の河幅方向の濃度分布を初期条件とし、それが $x = 0, q = q_{s1} \sim q_{s2}$ の区間から線源として流入するとして次のようになる。

$$C'(x, q') = \frac{1}{2(q'_{s2} - q'_{s1})}$$

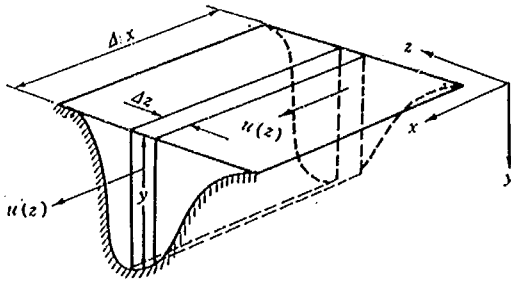


図-3-20 河川断面

$$\begin{aligned}
 & \left[\sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s2} + 2n - q')}{\sqrt{2}} \right. \right. \\
 & - \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s1} + 2n - q')}{\sqrt{2}} + \\
 & \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s2} + 2n + q')}{\sqrt{2}} \\
 & - \left. \left. \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s1} + 2n + q')}{\sqrt{2}} \right\} \right. \\
 & + \sum_{n=0}^{\infty} \left\{ \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s2} - 2n - q')}{\sqrt{2}} \right. \\
 & - \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s1} - 2n - q')}{\sqrt{2}} \\
 & + \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s2} - 2n + q')}{\sqrt{2}} \\
 & - \left. \left. \operatorname{erf} \frac{\alpha (q'_{s1} - 2n + q')}{\sqrt{2}} \right\} \right] \quad (3.91)
 \end{aligned}$$

ここで、 $C' = C/\bar{C}$, $\bar{C} = 1/Q \int_0^Q C dq$,

$$q'_s = q_s/Q, \quad \alpha^2 = Q^2/2 E_z x,$$

$$\operatorname{erf} q = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^q e^{-p^2} dp$$

q'_{s1}, q'_{s2} : 無次元化された汚濁線源の両端

図-3-21に示すような横流入ある河川では、式(3.91)で与えられた解析解を用いて解析を行えば、各測点(No. 2~)における河幅方向の汚濁物質の濃度分布を求めることができる。実際に調査の時には、断面1($x=0$ の断面)において式(3.91)に含まれているパラメータ(q, q_{s1}, q_{s2}, Q , 河幅方向の水深及び汚濁物質

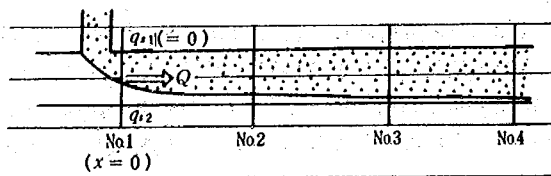


図-3-21 横流入における汚濁物質の広がり

の濃度分布など)を中心に測定する。ここで最も問題となるのは横拡散係数をいかにして決定するかということである。横拡散係数 D_z は、一般的には、

$$D_z = \beta \cdot h \cdot u_s$$

によって求めることが出来るが、摩擦係数 u_s をいかに決定するか、あるいは、 β の値をいくつに設定するかなど状況に応じてその測定が困難となる場合が多い。従って、ここでは式(3.88)の解析解を利用することにより、汚濁物質の河幅方向の濃度分布から D_z を逆算する方法について述べることにする。式(3.88)の解析解として式(3.91)を用いると計算そのものが煩雑となるため、河川の流心における連続注入の場合の解

$$\begin{aligned}
 & C(x, q)/C_p(x) \\
 & = \exp \{-Q^2 (q_c/Q - 0.5)^2 \\
 & \quad / 4 E_z x\} \quad (3.92)
 \end{aligned}$$

を用いて計算を行なう。

具体的には、まず、 $x=0$ の断面の流心地点においてトレーサ物質を定常的に連続投入し、それによって、 $X=900\text{m}$ の断面における河幅方向の汚濁物質濃度分布 $C(z)$ が図-3-22に示すように得られたとする。さら

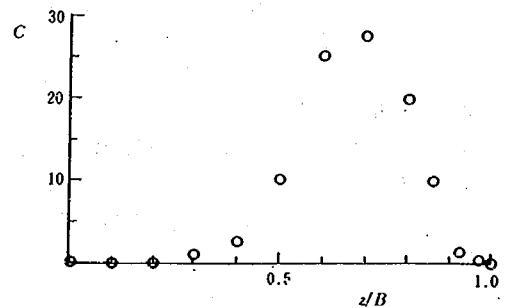
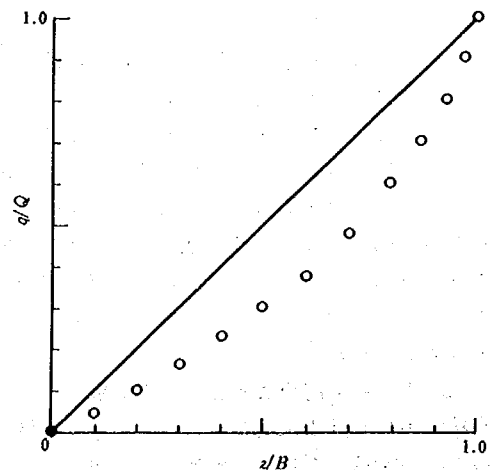


図-3-22 汚濁物質濃度分布(河幅方向)

図-3-23 q/Q と z/B の関係

z/B	q/Q	C
0	0	0
0.1	0.4	0
0.2	0.1	0
0.3	0.16	0.9
0.4	0.23	2.5
0.5	0.3	10.0
0.6	0.38	25.0
0.7	0.48	27.5
0.8	0.6	20.0
0.86	0.7	10.0
0.92	0.8	1.5
0.97	0.9	0.5
1.0	1.0	0

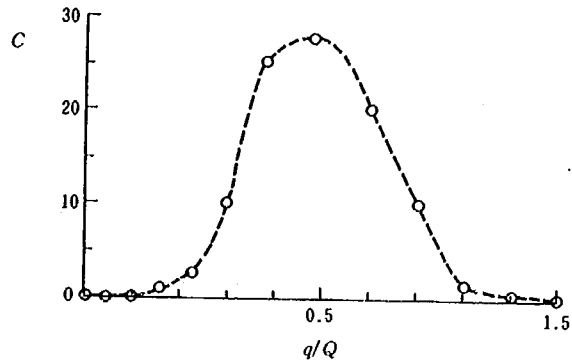


図-3-24 C と q/Q の関係

に、同じくこの断面における $q/Q \sim z/B$ (B : 河幅) の関係を測定により求める(図-3-23)。図-3-23, 24の関係をもとに、 C (q/Q) を描くと図-3-24のようになる。よって、式(3.92)において例えば $Q=30\text{ m}^3/\text{s}$, $x=$

900m, $E_z = \text{const}$, として、図-3-24の結果に最も一致するような E_z を求めてやればよいことになる。ここでは、便宜上、 $C/C_p = e^{-1}$ となる q/Q を図3-25より読みとり計算を行なえば、 $E_z = 0.013$ となり、従って、 D_z の値は式(3.90)の関係より(便宜上、 $h=1.0\text{m}$, $u=1.0\text{ m/s}$ とする) 0.013 となる。

参考文献

- 1) R. Betson *et al.*, Nonpoint source mineral water quality model, JWPCF, October 1975, pp. 2461-2473.
- 2) D. C. Grobler, M. J. Silberbauer, "The Combined Effect of Geology, Phosphate Sources and Runoff on Phosphate Export from Drainage Basins" *Water Research*, Vol. 19, No. 8, 1985, pp. 975-981.
- 3) Dillon P. J. and Kirchner W. B., The effects of geology and land use on the export of phosphorus from watersheds. *Water Research*, Vol. 9, 1975, pp. 135-148
- 4) Pinter G. G. and Jolankai G., Case study on nonpoint source plant nutrient load calculations. *Int. Ass. Hydrol. Sci.* 1982, 139, pp. 207-214
- 5) Hill A. R., Factors affecting the export of nitrate nitrogen from drainage basins in Southern Ontario. *Water Research*, 1978, 12, pp. 1045-1057
- 6) 建設省都市局下水道部, 流域別下水道整備総合計画調査指針と解説, 昭和58年, 日本下水道協会
- 7) 建設省技術管理業務連絡会水質部会, 河川水質試験方法(案), 昭和59年, 土木研究センター
- 8) 国土庁土地局, 計画・調整局
- 9) 環境庁 自然環境保全調査報告書一第1回録の国勢調査一, 昭和51年3月
- 10) 建設省四国地方建設局 四国技術事務所, 昭和62年家庭汚濁負荷量原単位調査業務報告書, 昭和62年10月
- 11) 建設省四国地方建設局 四国技術事務所, 昭和60年度家庭汚水観測装置の開発(流量観測・採水)
- 12) 建設省都市局下水道部流域下水道課, 将来汚濁負荷量原単位調査報告書, 昭和61年3月
- 13) 建設省中国地方建設局, 家庭排水汚濁負荷量原単位調査報告書, 昭和59年2月
- 14) 建設省都市局, 家庭汚水原単位報告書, 昭和59年3月
- 15) 建設省関東地方建設局他, 霞ヶ浦水質現況調査報告書, 昭和48年
- 16) 大野茂その他, 用途別建築物の汚水量・負荷量, 川水と廃水 Vol.21, No.10, 1979
- 17) 大野茂その他, 用途別建築物の排水量・水質及び負荷量(第4報) 川水と Vol.22, No.2, 1980
- 18) 小川雄比古その他, 用途別建築物の排水量・水質および負荷量, 川水と廃水 BOLL22, NO11, 1980
- 19) 全農 施設・資材部, 家畜のふん尿処理利用施設・機器導入のてびき, 昭和58年6月
- 20) 畜産環境整備リース協会, 家畜ふん尿の生産量と利用価値, 畜環リース情報14, 昭和56
- 21) 中央畜産会, 家畜排泄物の処理, 利用の手引き, 1978
- 22) 脱窒・脱磷技術と富栄養化対策, アイピーシー
- 23) 溝呂木 昇, 水質予測計算入門(III), 公害と対策, Vol. 15, No. 4, 1979
- 24) 大蔵省印刷局発行, 総理府編観光白書(平成元年版)
- 25) 長崎県調査
- 26) 日本環境整備教育センター, 1976
- 27) 中村, 田中, 汚濁負荷の原単位に関する調査, 昭和63年度下水道関係調査研究年次報告書集, 土木研究所資料第2787号, 平成元年10月
- 28) 国松孝男, 村岡浩爾, 河川汚濁のモデル解析, 技報堂出版
- 29) 建設省関東地方建設局, 多摩川上流部の現況解析調査報告書
- 30) 中村, 田中, 汚濁負荷の原単位に関する調査, 昭和61年度下水道関係調査研究年次報告書集, 土木研究所資料第2509号, 昭和62年10月
- 31) 中村, 田中, 小森, 汚濁負荷の原単位に関する調査, 土木研究所資料第2509号, 昭和62年10月
- 32) 建設省九州地方建設局 松浦川大堰水質調査業務報告書(1983)
- 33) 都市域からの降雨流出調査報告書, 土木研究所資料第1018号, 昭和50年3月
- 34) 都市域からの雨天時汚濁流出調査報告書, 土木研究所資料第1019号, 昭和50年3月
- 35) 安藤, 中村, 工藤, 分流式下水道雨水渠の汚濁ポテンシャルに関する研究, 土木研究所資料第1520号, 昭和54年8月
- 36) 下水管路施設設計の合理化に関する調査報告書, 土木研究所資料第981号, 昭和49年10月
- 37) S. R. Weibel, R. B. Weidner, A. G. Christianson, & R. J. Anderson, "Characterization,

- Treatment, and Disposal of Urban Stormwater"第3回国際水質汚濁研究会議論文
- 38) D. W. Eckhoff, A. O. Friedland, & H. F. Ludwig, "Characterization and Control of Combined Sewer Overflow, San Francisco" Water Research, Vol. 3, 1969
- 39) G. Soderlund & H. Lehtinen "Comparison of Discharges from Urban Stormwater Run-off Mixed Storm Overflow and Treated Sewage" 第6回国際水質汚濁研究会議論文
- 40) J. G. Cleaveland, R. H. Ramsey, & P. R. Walters "Storm Water Pollution from Urban Land Activity" Combined Sewer Overflow Abatement Technology, June 1970. JWQA資料
- 41) 渡部, 伊井, 田中, 林地からの汚濁流出特性, 下水道協会誌Vol.124, No.273, 1987/2
- 42) 今地山美子他, 原単位法による農耕地河川の流出解析, 日本陸水学会第48回大学講演要旨集, 1983年9月
- 43) 北川博之他, 原単位法による都市河川の流出解析, 日本陸水学会48回大学講演要旨集1983年9月
- 44) 川村 寛他, 山林からの汚濁負荷原単位, 第18回水質汚濁学会講演集, 昭和59年3月
- 45) 岩手工事事務所, 流域別下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査(自然汚濁負荷調査)報告書, 昭和59年3月
- 46) 中村, 酒井, 戸別合併浄化槽の処理機能に関する調査報告書, 土木研究所資料第2669号, 昭和63年11月
- 47) 環境庁調査
- 48) 日本河川協会編, 建設省河川砂防技術基準(案), 昭和51年
- 49) 建設省水文研究会, 水文観測, 昭和60年2月
- 50) 中村, 長谷川, 小森, 河川の総合負荷量収支に関する調査, 土木研究所資料No. 2509号S62. 10
- 51) 建設省北陸地方建設局北陸技術事務所, 総合負荷量調査(第2報)
- 52) 建設省 東北地方建設局東北技術事務所, 河川の総合負荷量収支に関する調査報告書, 昭和63年9月
- 53) 建設省中国地方建設局
- 54) 理科年表
- 55) 東北地方建設局 東北技術事務所 内部資料
- 56) 中部地方建設局 中部技術事務所 内部資料
- 57) 森田, 山田, 安中, 河川の有機物収支推定法に関する研究, 水質汚濁研究, Vol. 10, No. 4, p. 237-242, 1978
- 58) W. C. Sonzogni *et al.*, Use Large Submerged Chambers to measure sediment-waters Interactions, Water Research Vol. 11, pp. 461-464, 1977
- 59) 椿 東一郎 水理学II 森北出版p.173~p.195.
- 60) 村上 健 拡散方程式の数値計算方法の紹介, 下水道協会誌Vol.9 No.106 1972/9
- 61) 四倉 信弘 "Transverse Diffusion of Solutes in Natural Streams" U.S.G.S. Prof. Paper 582-C, 1972