
産総研-水系暴露解析モデル(AIST-SHANEL)を用いた
河川流量および未処理水と放流水の河川希釈率に
関する検討

平成24年5月



(独)産業技術総合研究所
安全科学研究部門



本文書は、日本石鹼洗剤工業会から株式会社日水コンへの委託業務報告書を基に、日本石鹼洗剤工業会の了承のもと独立行政法人産業技術総合研究所と株式会社日水コンが作成したものです。

産総研－水系暴露解析モデル（AIST-SHANEL）を用いた
河川流量および未処理水と放流水の河川希釈率に関する検討

目次

| | |
|--|----|
| はじめに | 1 |
| 1 AIST-SHANEL の概要説明 | 3 |
| 1.1 AIST-SHANEL の概要 | 3 |
| 1.2 河川流量の推定方法 | 8 |
| 1.3 河川水希釈率の定義 | 9 |
| 2 今回の検証内容 | 11 |
| 2.1 AIST-SHANEL により推定した河川流量の妥当性の検証 | 11 |
| 2.2 AIST-SHANEL を用いた月別の河川流量の年間最小値による希釈率の検証 | 15 |
| 3 AIST-SHANEL を用いた生活排水の河川水希釈率の検討結果 | 17 |
| 3.1 年間の流況を対象にした場合の生活排水の河川水希釈率 | 17 |
| 3.2 渇水時相当を対象にした場合の生活排水の河川水希釈率 | 17 |
| Appendix | 21 |

はじめに

化学物質の審査及び製造等の規制に関する法律（化審法）の改正に伴い、河川流域における化学物質の暴露評価で使用する河川の流量や希釈率について調査解析が進められている。現在までに、下水処理水の希釈率については報告されているが（独立行政法人製品評価技術基盤機構化学物質管理センター、2007）、未処理水の希釈率に関する検討は行われていない。

未処理水の希釈率についての情報は存在しないことから、河川流域における化学物質のリスク評価のための時間的・空間的に詳細な暴露解析を可能とした産総研-水系暴露解析モデル(AIST-SHANEL)を用いて、未処理水の希釈率を算出した。

本文書において、第1章で AIST-SHANEL の概要を説明する。第2章で AIST-SHANEL より推計した河川流量の妥当性を示した。また、AIST-SHANEL より推計した月別流量の年間最小値を用いた下水処理水の希釈率を、渇水流量時の値とみなすことの妥当性を検証した。第3章で生活排水の未処理水の希釈率について、年間の流況時の値と、安全側に評価するための値として渇水流量時相当での値を提示する。Appendix では各種希釈率の比較と用語等（本文中で*を付けたもの）の解説を記載した。

1 AIST-SHANEL の概要説明

1.1 AIST-SHANEL の概要

平成 13 年の PRTR 法の施行に伴い、対象化学物質の排出量データを容易に入手できるようになり、リスク評価の重要性も高まってきた。(独)産業技術総合研究所では河川流域における化学物質のリスク評価のための時間的・空間的に詳細な暴露解析を可能としたモデル「産総研-水系暴露解析モデル National Institute of Advanced Industrial Science and Technology - Standardized Hydrology-based Assessment tool for chemical Exposure Load」(AIST-SHANEL)を開発してきた(石川・東海 2006)。

AIST-SHANEL は気象データ、化学物質の排出量、蒸気圧や半減期などの基本的な物性を入力すれば、3 次メッシュ(1km×1km メッシュ)単位の空間解像度で、日単位あるいは月単位の時間解像度の河川流量、化学物質の河川水中濃度、および河川底泥濃度を推定できるモデルである(図 1-1 参照)。AIST-SHANEL の開発経緯については、平成 16 年 9 月に多摩川水系など 4 水系を対象とした AIST-SHANEL Ver.0.8、平成 17 年 11 月に利根川水系、淀川水系など主要な広域 13 水系を対象とした Ver.1.0 を公開した。AIST-SHANEL は日単位の解析を基本とするが、解析領域の拡張に伴う計算時間の短縮化を図るため、Ver.1.0 以降は月単位の解析としている。その後、対象水系の拡張と排出量推定の精度向上を図り、平成 22 年 10 月に全国 1 級 109 水系を対象とした AIST-SHANEL Ver.2.0 を公開した(産業技術総合研究所安全科学研究部門 HP 2010)。

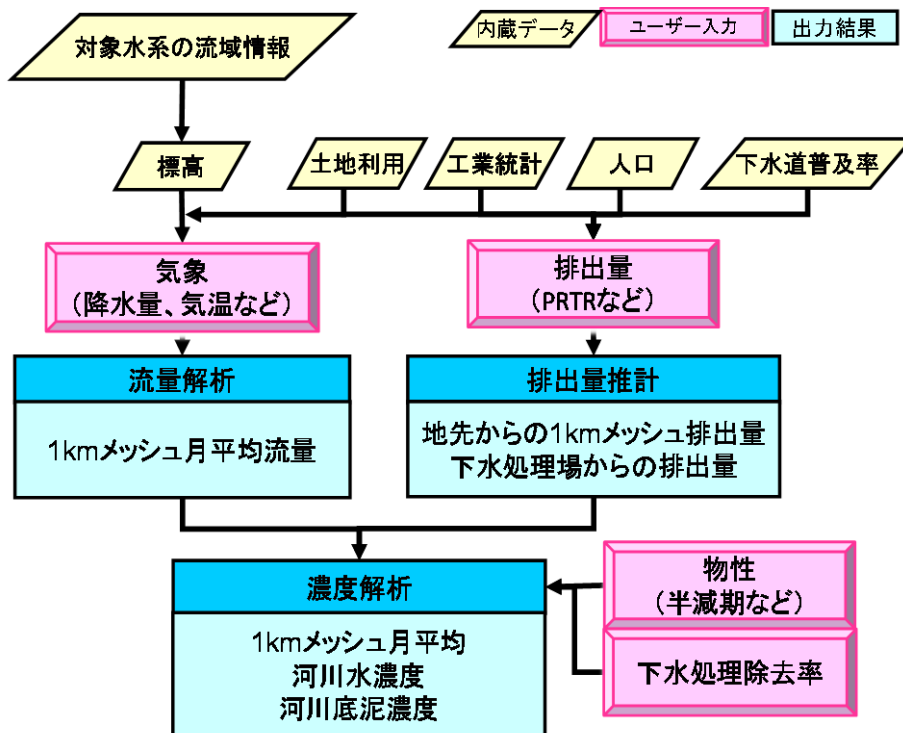


図 1-1 AIST-SHANEL の解析フロー

(1) AIST-SHANEL Ver. 2.0 の紹介

1) 対象水系の拡張

AIST-SHANEL Ver.2.0 は、図 1-2 に示す全国 109 の一級水系を解析対象としている。全ての水系の標高、人口、工業統計(製造品出荷額)、土地利用、下水道普及率等の流域情報は、3 次メッシュ単位でモデルに内蔵されている。下水道に関する処理区域や、下水処理場の位置や放流量に関する情報は 2005(平成 17)年のデータを搭載している。

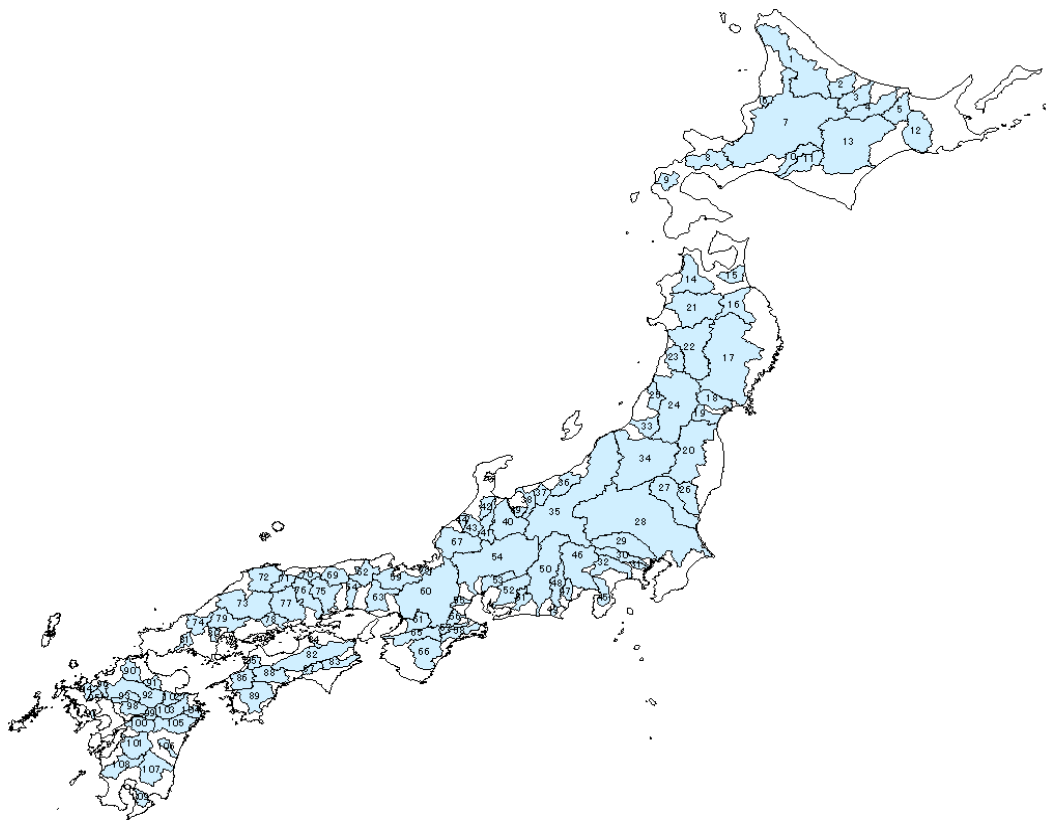


図 1-2 AIST-SHANEL Ver. 2.0 の対象水系

2) 排出量推定の精度向上

AIST-SHANEL Ver.2.0 では、図 1-3 に示す方法でメッシュ単位の排出量を推定している。PRTR 届出事業所からの公共用水域への排出量は、届出事業所の所在地に対応した 3 次メッシュに届出排出量を入力するようにした(図 1-3(1))。PRTR の対象業種を営む事業者からのすそ切り以下の届出外排出量は、ユーザーが業種別の全国排出量を入力し、製造品出荷額の 3 次メッシュデータでメッシュに割り振るようにした(図 1-3(2))。非対象業種を営む事業者や家庭からの届出外排出量は、ユーザーが都道府県別排出量を入力し、人口や土地利用の 3 次メッシュデータを用いて下水道未整備区域のメッシュへ割り振るようにした(図 1-3(3))。なお、下水道への移動量については、各自自治体が管轄する単独下水処理場や流域下水処理場へ、処理水量で配分するようにした。

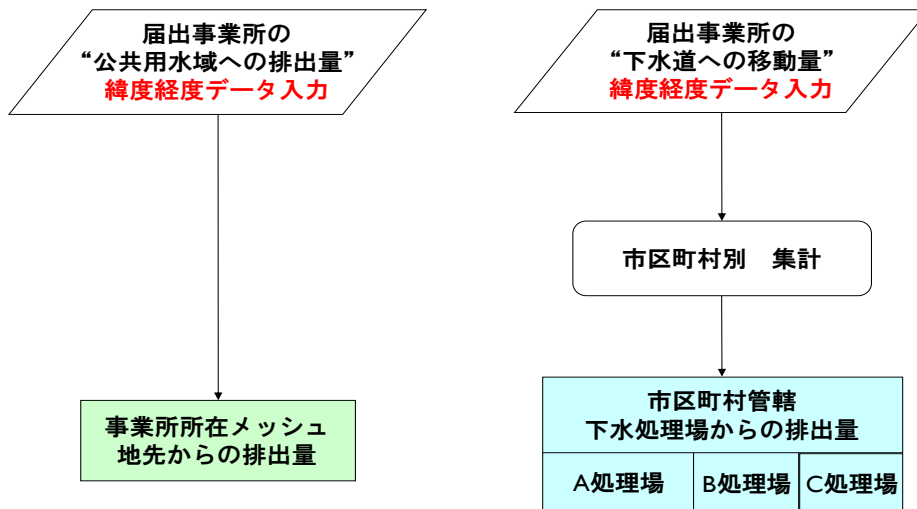


図 1-3(1) PRTR 点源排出量の推定方法

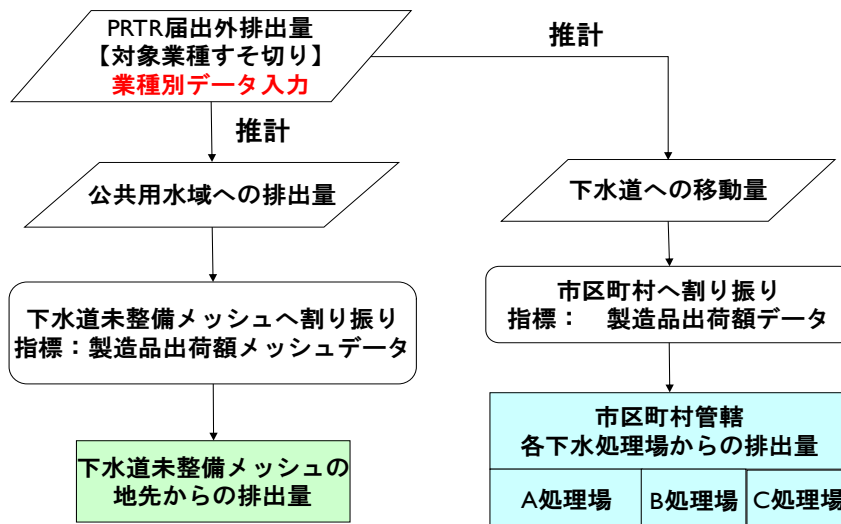


図 1-3(2) PRTR すそ切り以下排出量の推定方法

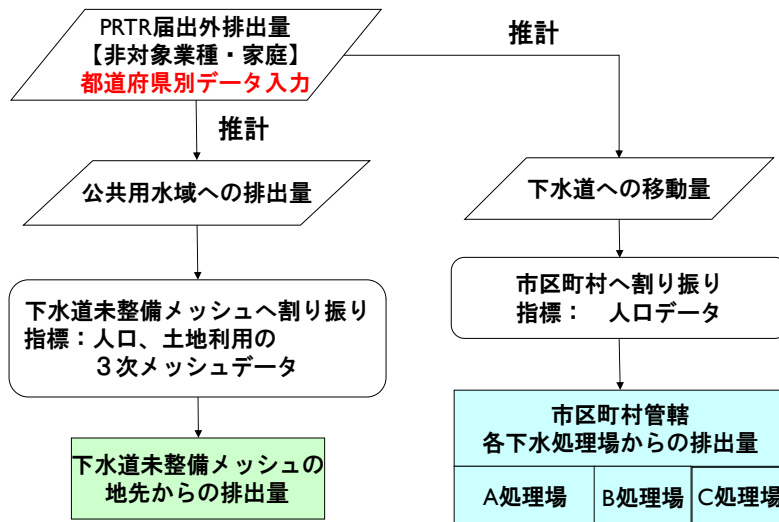


図 1-3(3) PRTR 非点源排出量の推定方法

3) AIST-SHANEL の適用事例

a) 任意時刻における濃度の面的分布図

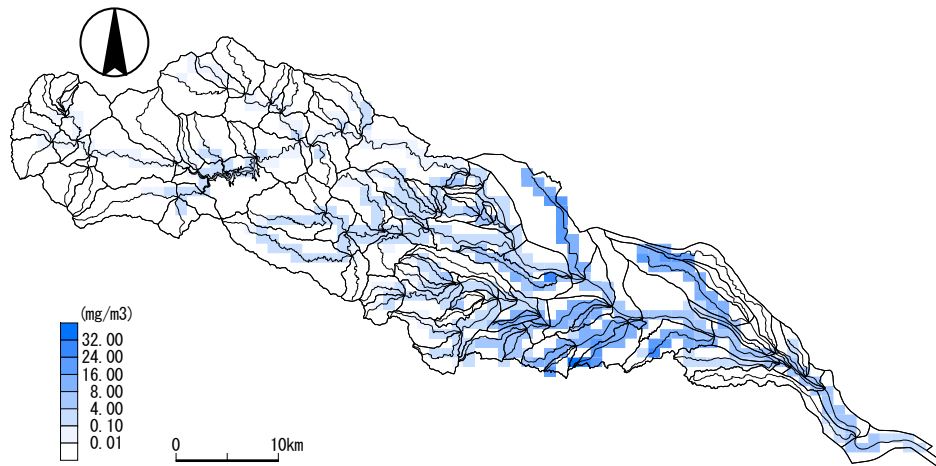


図 1-4(1) 多摩川水系の河川水 LAS 濃度の面的分布図

b) 任意時刻における濃度の本川縦断分布図

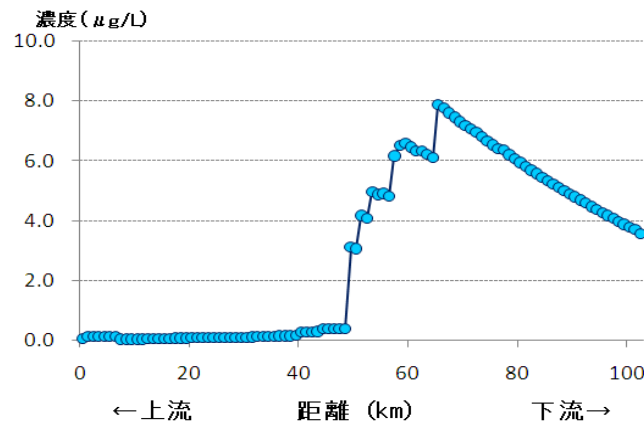


図 1-4(2) 多摩川本川の河川水 LAS 濃度の縦断分布図

c) 任意地点における月別濃度の経月変化

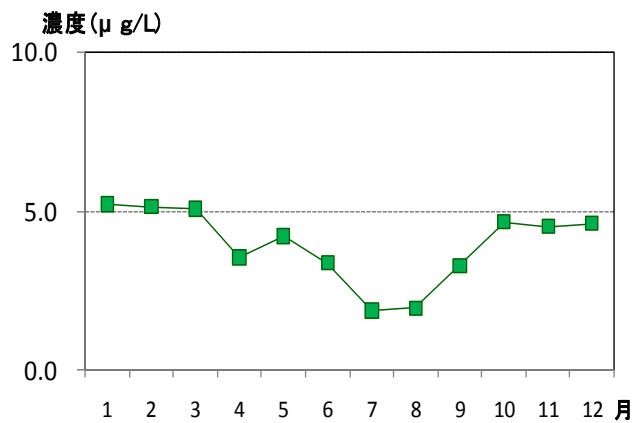


図 1-4(3) 多摩川・田園調布取水堰の河川水 LAS 濃度の経月変化

4) AIST-SHANEL の検証

AIST-SHANEL の現況再現性は石川・東海(2006)に示されている。対象水系を拡張し、排出量推定の精度向上を図った AIST-SHANEL Ver.2.0 について、河川流量および河川水 LAS 濃度の再現性を評価した。図 1-5 は全国 109 水系の最下流地点の年平均流量の推定精度(左図)と、利根川、荒川、多摩川、淀川水系の河川水 LAS 年平均濃度の推定精度を(右図)を示したものである。観測値に対する推定値の比率がファクター2 以内であることから、推定精度は良好と判断している。

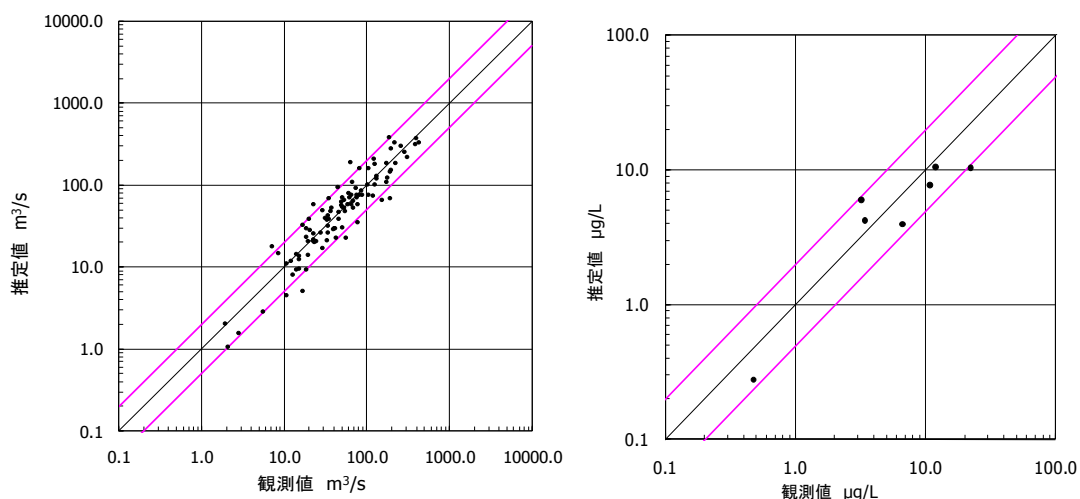


図 1-5 年平均流量の推定精度(左)、LAS の河川水年平均濃度の推定精度(右図)

注：観測値は日本石鹼洗剤工業会(2006)のデータ

AIST-SHANEL により、日本全国の主要な河川流域を対象にした化学物質等による暴露評価が可能となった。これより、地先での排出量削減対策や下水処理除去率の向上による濃度低減効果、化学物質の代替に伴うリスクの変化を予測することができる。

今後、化審法改正等の動向からも、観測値が少ない化学物質や新規化学物質のリスク評価が必要であり、時間的・空間的に詳細な解像度で暴露濃度を推定できる AIST-SHANEL が有用になろう。

1.2 河川流量の推定方法

AIST-SHANEL Ver.2.0 を用いて河川流量を推定する。ここでは、河川流量を推定する流れ解析モデルを紹介する。小尻らによって開発された Hydro-BEAM(1998)を基本として、流れ解析モデルを構築する。Hydro-BEAM は平面方向に 3 次メッシュ、鉛直方向に多層型を用い、流域特性を擬似的な 3 次元として表現するモデルである。主な特徴は以下の通りである。

- 全国の気象官署に基づき水系を Thiessen 分割し、3 次メッシュ毎に適用する気象官署を特定する。降水量、気温は標高により高度補正する。
- 地表面および A 層、河道には kinematic wave 法を適用する。地表面および A 層については畑地、山林、市街地、水田、水域の土地利用別に集中化する。
- B～D 層には線形貯留モデルを適用する。各層が飽和水深に達した場合、溢水量は上層へ復帰流として回帰する。蒸発散量は A 層から差し引き、不足分は B 層から差し引く。

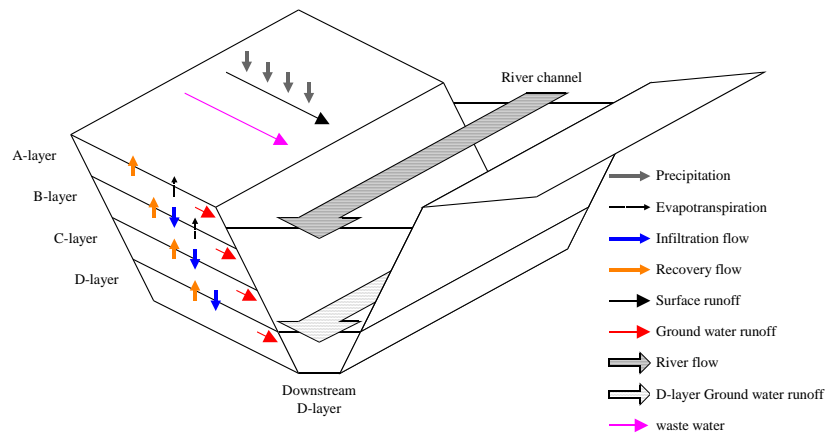


図 1-6 Hydro-BEAM の概念図

また、水田には複合タンクモデルを適用し、水管理方式を畦畔越流や、畦畔横浸透に反映させる。線形貯留モデルは土壌 B～D 層に適用し、地下水流出をモデル化したものである。

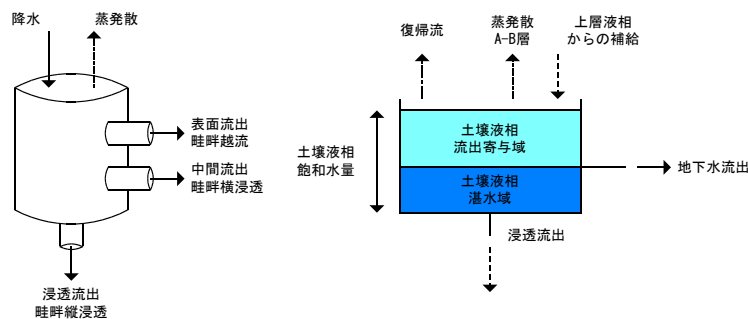


図 1-7 複合タンクモデルと線形貯留モデル

ただし、水系内に存在する水管理施設であるダム貯水池や堰は考慮しない。すなわち、水管理施設による河川の洪水調節や利水操作は表現できないことに注意する。

1.3 河川水希釈率の定義

(1) 希釈率の定義

河川水希釈率は、当該排水に対する河川の流量の比として定義される^{*1}。

(2) 希釈率の定式化

1) 変数定義

Q : 河川流量

q : 人為排水量

off : 人為排水を含まない自然流量^{*2}を表す添字

D : 希釈率

番号(1、2) : 評価地点

2) 定式化

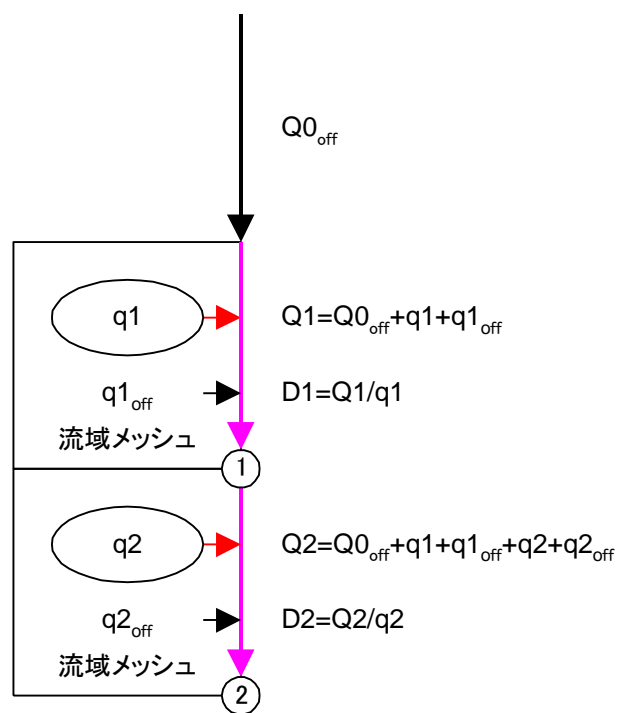


図 2-2 希釈率の概念図

(3) パーセンタイル値の定義

希釈率の全データを昇順に並べ替え、その全データ数を n とする。任意のパーセンタイル x を与えたとき、 $n \times x$ 番目のデータ値をもって x パーセンタイル値とする。ただし、 $n \times x$ が整数とならない場合、希釈率が小さくなる、すなわち、希釈率を安全側に評価するため、端数を切捨てた整数番目の値とする。例えば、下図のように $n \times x$ が i と $i+1$ の間にあるとき、 i 番目の値とする。

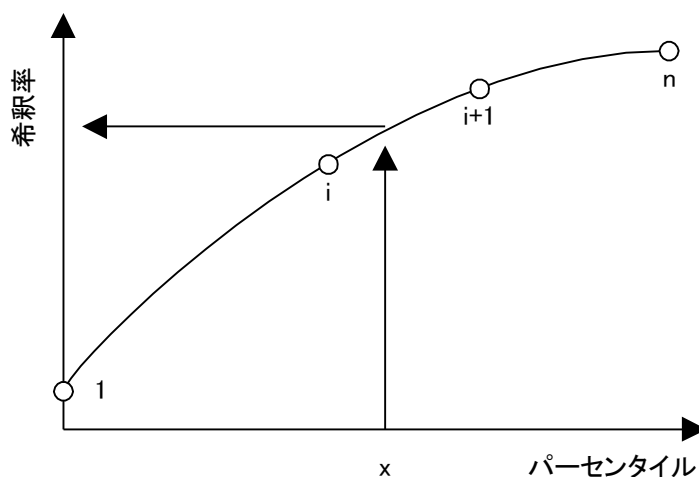


図 2-3 パーセンタイル値の定義

参考文献

- 1) 石川百合子・東海明宏：河川流域における化学物質リスク評価のための産総研-水系暴露解析モデルの開発,水環境学会誌,29 卷 12 号,pp.797-807,2006.
- 2) (独)産業技術総合研究所安全科学研究部門 HP :
<http://www.aist-riss.jp/projects/AIST-SHANEL/>,2010.
- 3) 日本石鹼洗剤工業会環境委員会：環境年報 Vol.31(2006 年度版),pp.8-10,2006.
- 4) 小尻利治・東海明宏・木内陽一：シミュレーションモデルでの流域環境評価手順の開発,京都大学防災研究所年報, 第 41 号 B-2, pp.119-134, 1998.

2 今回の検証内容

2.1 AIST-SHANEL により推定した河川流量の妥当性の検証

(1) 検証条件

2005 年を検証対象年に設定し、AIST-SHANEL Ver.2.0 を適用する。月別平均流量は月単位での総降水量および気温の月別平均値を入力して求める。河川流量の妥当性は表-1 に示す全国 1 級 109 水系の観測地点を対象に、AIST-SHANEL による推定値と観測値とを比較することにより検証する。

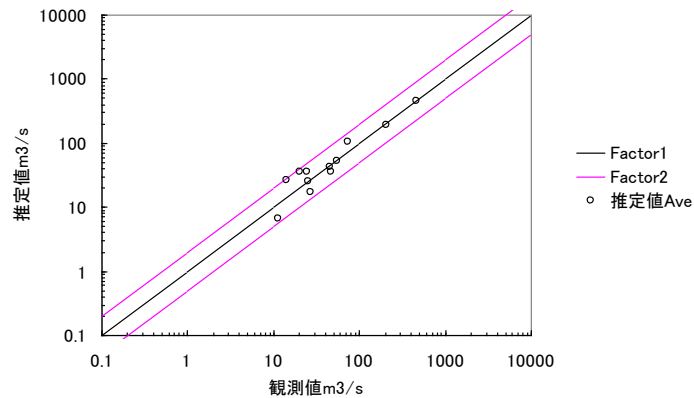
表 2-1 全国 1 級 109 水系の流量観測地点

| 109水系 | 地整 | 水系名 | 河川名 | 観測所名 |
|-------|-----|-------|-------|-------|
| 1 | 北海道 | 天塩川 | 天塩川 | 凹山 |
| 2 | 北海道 | 渚滑川 | 渚滑川 | 上渚滑 |
| 3 | 北海道 | 湧別川 | 湧別川 | 開盛 |
| 4 | 北海道 | 常呂川 | 常呂川 | 北見 |
| 5 | 北海道 | 網走川 | 網走川 | 本郷 |
| 6 | 北海道 | 留萌川 | 留萌川 | 大和田 |
| 7 | 北海道 | 石狩川 | 石狩川 | 石狩大橋 |
| 8 | 北海道 | 尻別川 | 尻別川 | 名駒 |
| 9 | 北海道 | 後志利別川 | 後志利別川 | 今金 |
| 10 | 北海道 | 鶴川 | 鶴川 | 鶴川 |
| 11 | 北海道 | 沙流川 | 沙流川 | 平取 |
| 12 | 北海道 | 釧路川 | 釧路川 | 広里 |
| 13 | 北海道 | 十勝川 | 十勝川 | 茂岩 |
| 14 | 東北 | 岩木川 | 岩木川 | 五所川原 |
| 15 | 東北 | 高瀬川 | 高瀬川 | 上野 |
| 16 | 東北 | 馬淵川 | 馬淵川 | 剣吉 |
| 17 | 東北 | 北上川 | 旧北上川 | 和渕 |
| 18 | 東北 | 鳴瀬川 | 野田橋 | 野田橋 |
| 19 | 東北 | 名取川 | 名取川 | 名取橋 |
| 20 | 東北 | 阿武隈川 | 阿武隈川 | 館矢間 |
| 21 | 東北 | 米代川 | 米代川 | 二ツ井 |
| 22 | 東北 | 雄物川 | 雄物川 | 橋川 |
| 23 | 東北 | 子吉川 | 子吉川 | 二十六木橋 |
| 24 | 東北 | 最上川 | 最上川 | 砂越 |
| 25 | 東北 | 赤川 | 赤川 | 浜中 |
| 26 | 関東 | 久慈川 | 久慈川 | 榊橋 |
| 27 | 関東 | 那珂川 | 那珂川 | 野口 |
| 28 | 関東 | 利根川 | 利根川 | 布川 |
| 29 | 関東 | 荒川 | 荒川 | 大芦橋 |
| 30 | 関東 | 多摩川 | 多摩川 | 石原 |
| 31 | 関東 | 鶴見川 | 鶴見川 | 亀の子橋 |
| 32 | 関東 | 相模川 | | |
| 46 | 関東 | 富士川 | 富士川 | 北松野 |
| 33 | 北陸 | 荒川 | 荒川 | 葛籠山 |
| 34 | 北陸 | 阿賀野川 | 阿賀野川 | 馬下 |
| 35 | 北陸 | 信濃川 | 信濃川中流 | 小千谷 |
| 36 | 北陸 | 関川 | 関川 | 高田 |
| 37 | 北陸 | 姫川 | 姫川 | 山本 |
| 38 | 北陸 | 黒部川 | 黒部川 | 宇奈月 |
| 39 | 北陸 | 常願寺川 | 常願寺川 | 瓶岩 |
| 40 | 北陸 | 神通川 | 神通川 | 神通大橋 |
| 41 | 北陸 | 庄川 | 庄川 | 大門 |
| 42 | 北陸 | 小矢部川 | 小矢部川 | 長江 |
| 43 | 北陸 | 手取川 | 手取川 | 中島 |
| 44 | 北陸 | 梯川 | 梯川 | 埴田 |
| 45 | 中部 | 狩野川 | 狩野川 | 徳倉 |
| 47 | 中部 | 安倍川 | 安倍川 | 手越 |
| 48 | 中部 | 大井川 | 大井川 | 神座 |
| 49 | 中部 | 菊川 | 菊川 | 加茂 |
| 50 | 中部 | 天竜川 | 天竜川 | 鹿島 |
| 51 | 中部 | 豊川 | 豊川 | 当古 |
| 52 | 中部 | 矢作川 | 矢作川 | 米津 |
| 53 | 中部 | 庄内川 | 庄内川 | 枇杷島 |
| 54 | 中部 | 大曾川 | 大曾川 | 犬山 |
| 55 | 中部 | 鈴鹿川 | 鈴鹿川 | 高岡 |
| 56 | 中部 | 雲出川 | 雲出川 | 大仰 |
| 57 | 中部 | 櫛田川 | 櫛田川 | 両郡 |
| 58 | 中部 | 宮川 | 宮川 | 岩出 |
| 59 | 近畿 | 由良川 | 由良川 | 福知山 |
| 60 | 近畿 | 淀川 | 淀川 | 枚方 |
| 61 | 近畿 | 大和川 | 大和川 | 柏原 |
| 62 | 近畿 | 円山川 | 円山川 | 府市場 |
| 63 | 近畿 | 加古川 | 加古川 | 国包 |
| 64 | 近畿 | 揖保川 | 揖保川 | 上川原 |
| 65 | 近畿 | 紀の川 | 紀の川 | 船戸第2 |
| 66 | 近畿 | 新宮川 | 熊野川 | 相賀 |
| 67 | 近畿 | 九頭竜川 | 九頭竜川 | 中角 |
| 68 | 近畿 | 北川 | 北川 | 高塚 |
| 69 | 中国 | 千代川 | 千代川 | 行徳 |
| 70 | 中国 | 天神川 | 天神川 | 小田 |
| 71 | 中国 | 日野川 | 日野川 | 車尾 |
| 72 | 中国 | 斐伊川 | 斐伊川 | 大津 |
| 73 | 中国 | 江の川 | 江の川 | 川平 |
| 74 | 中国 | 高津川 | 高津川 | 高角 |
| 75 | 中国 | 吉井川 | 吉井川 | 御休 |
| 76 | 中国 | 旭川 | 旭川 | 牧山 |
| 77 | 中国 | 高梁川 | 高梁川 | 日羽 |
| 78 | 中国 | 芦田川 | 芦田川 | 山手 |
| 79 | 中国 | 太田川 | 太田川 | 矢口第1 |
| 80 | 中国 | 小瀬川 | 小瀬川 | 両国橋 |
| 81 | 中国 | 佐波川 | 佐波川 | 新橋 |
| 82 | 四国 | 吉野川 | 吉野川 | 中央橋 |
| 83 | 四国 | 那賀川 | 那賀川 | 古庄 |
| 84 | 四国 | 土器川 | 土器川 | 常包橋 |
| 85 | 四国 | 重信川 | 重信川 | 出合 |
| 86 | 四国 | 肱川 | 肱川 | 大洲 |
| 87 | 四国 | 物部川 | 物部川 | 深淵 |
| 88 | 四国 | 仁淀川 | 仁淀川 | 伊野 |
| 89 | 四国 | 渡川 | 四方十川 | 真同 |
| 90 | 九州 | 遠賀川 | 遠賀川 | 日ノ出橋 |
| 91 | 九州 | 山国川 | 山国川 | 下唐原 |
| 92 | 九州 | 筑後川 | 筑後川 | 瀬ノ下 |
| 93 | 九州 | 矢部川 | 矢部川 | 船小屋 |
| 94 | 九州 | 松浦川 | 松浦川 | 牟田部 |
| 95 | 九州 | 大角川 | 牛津川 | 妙見橋 |
| 96 | 九州 | 嘉瀬川 | 嘉瀬川 | 川上 |
| 97 | 九州 | 本明川 | 本明川 | 裏山 |
| 98 | 九州 | 菊池川 | 菊池川 | 玉名 |
| 99 | 九州 | 白川 | 白川 | 代継橋 |
| 100 | 九州 | 緑川 | 緑川 | 城南 |
| 101 | 九州 | 球磨川 | 球磨川 | 横石 |
| 102 | 九州 | 大分川 | 大分川 | 府内大橋 |
| 103 | 九州 | 大野川 | 大野川 | 白滝橋 |
| 104 | 九州 | 番匠川 | 番匠川 | 番匠橋 |
| 105 | 九州 | 五ヶ瀬川 | 五ヶ瀬川 | 三輪 |
| 106 | 九州 | 小丸川 | 小丸川 | 高城 |
| 107 | 九州 | 大淀川 | 大淀川 | 柏田 |
| 108 | 九州 | 川内川 | 川内川 | 釜淵 |
| 109 | 九州 | 肝属川 | 肝属川 | 俣瀬 |

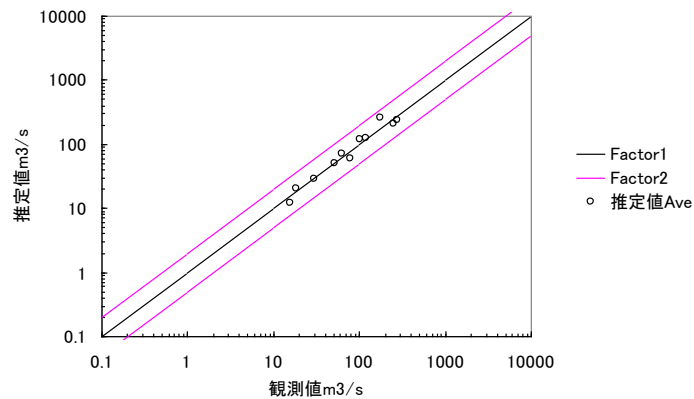
(2) 河川流量の推定精度

AIST-SHANEL Ver.2.0 により推定された月別流量から年平均流量を求め、これに関して推定値と観測値とを比較した。この結果、北陸を除き、概ね観測値に対する推定値の比率がファクター2以内であることから、推定精度は良好と判断した。北陸における精度が低い理由として、AIST-SHANEL では気象官署のデータを高度補正して適用しているが、北陸では気象要素の補正が十分でなく、河川流量の推定精度を劣化させているものと考えられる。

北海道



東北



関東

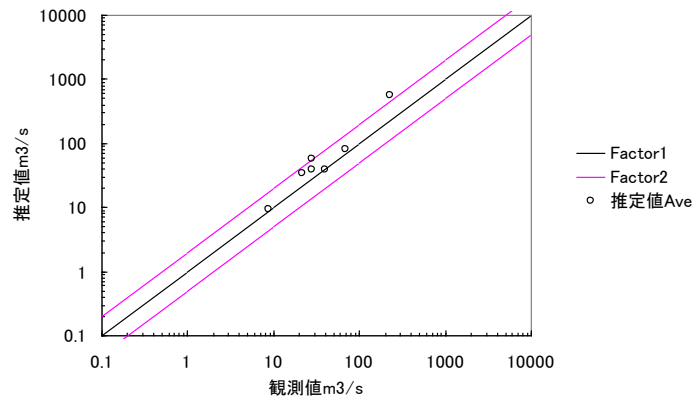


図 2-1(1) 年平均流量の推定値と観測値との比較

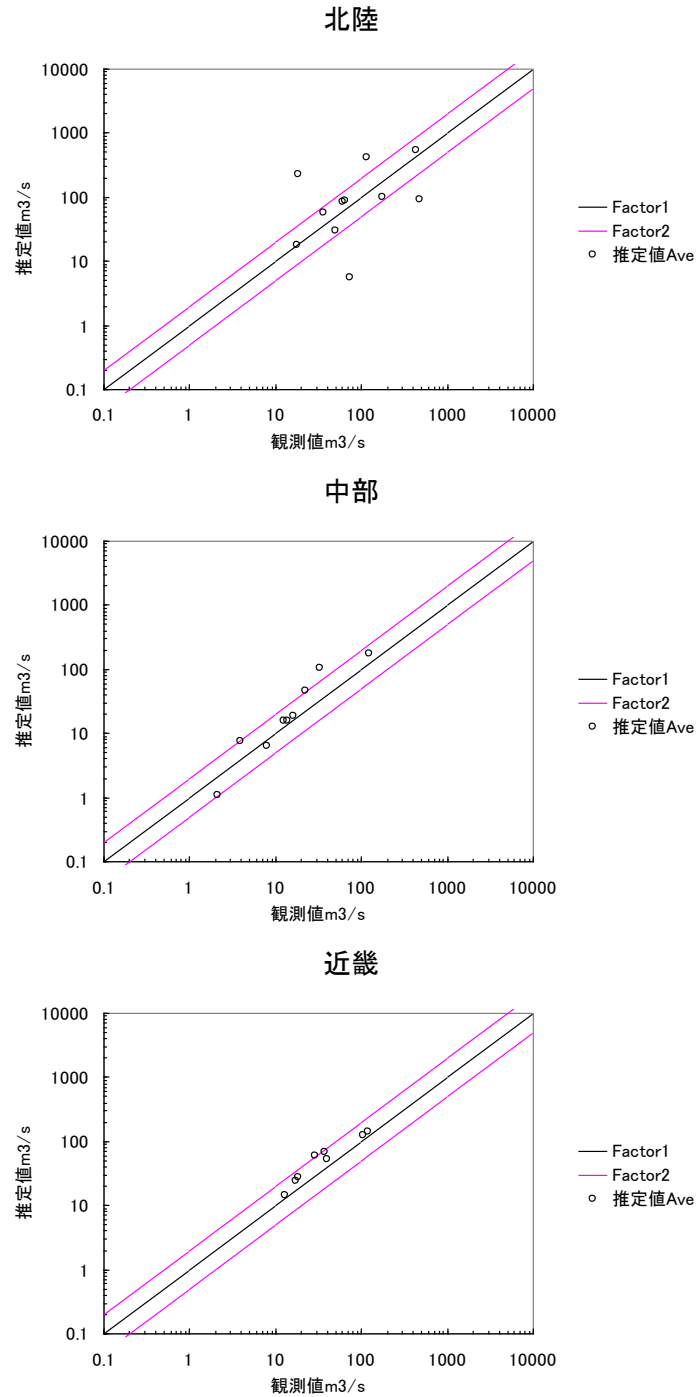


図 2-1 (2) 年平均流量の推定値と観測値との比較

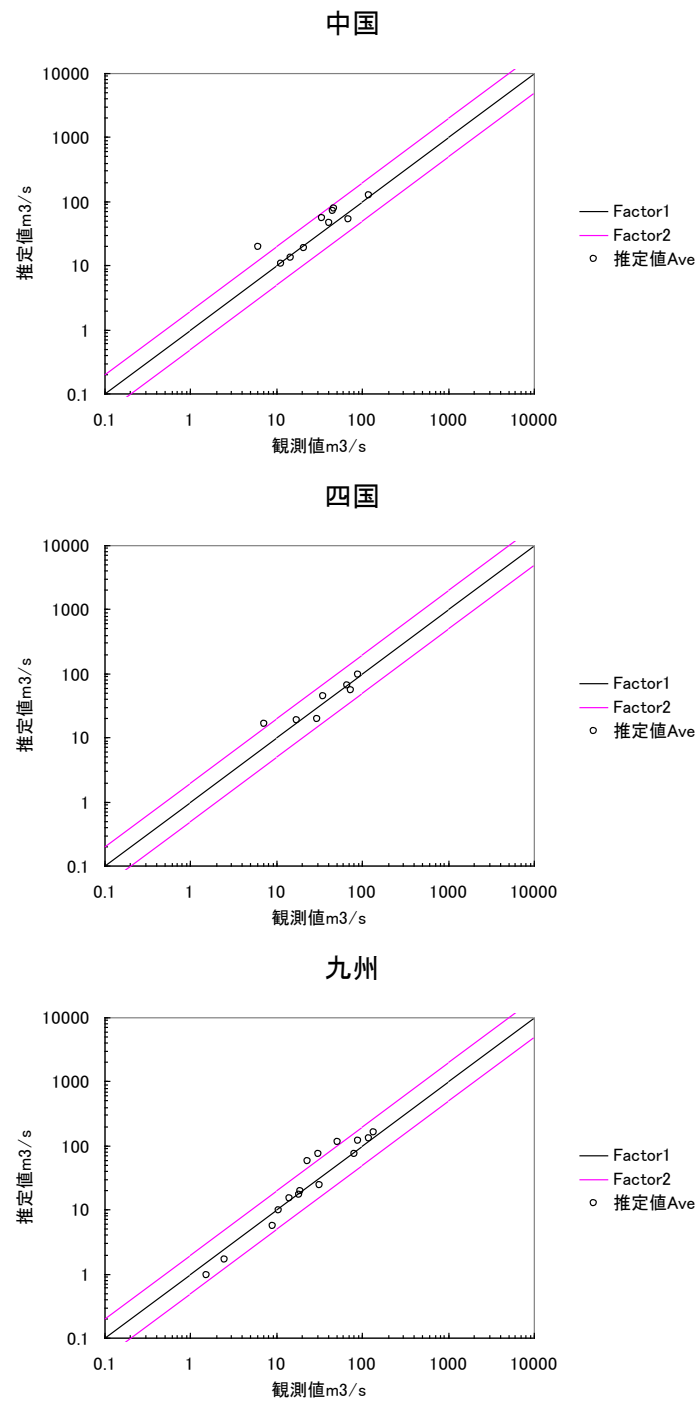


図 2-1 (3) 年平均流量の推定値と観測値との比較

2.2 AIST-SHANEL を用いた月別の河川流量の年間最小値による希釈率の検証

(1) 検証の目的

AIST-SHANEL では計算時間の短縮を図るため、月別の解析としている。このため渇水流量、低水流量、平水流量、豊水流量¹といった日別の流量の統計値は算出していない。しかし、安全側に希釈率を評価するため、渇水流量時の未処理水の希釈率を求めたい。そこで、希釈率を求める際、月別の河川流量の年間最小値を渇水流量相当として扱えるかどうかを観測値との比較により検証する。未処理水の希釈率の報告はないため、下水処理水の希釈率をもって検証に替えるものとした。

(2) 検証の方法と結果

渇水時における希釈率に関して観測値に基づく情報として、109 の下水処理場に対する結果（独立行政法人製品評価技術基盤機構 化学物質管理センター、2007）²を利用した。一方、AIST-SHANEL より 109 の下水処理場に該当する 109 地点について、月別の河川流量の年間最小値である 109 個のデータに基づいて下水処理水の希釈率を求めた³。表-2-1 は AIST-SHANEL より 109 個の希釈率の 5、10、25 の各パーセンタイル値と、観測値による渇水時における下水処理水の希釈率である。

表-2-1 AIST-SHANEL より求めた下水処理水の希釈率（月別の河川流量の年間最小値を利用した場合）と観測値より求めた渇水時における下水処理水の希釈率

| パーセンタイル | 昇順順位 | AIST-SHANEL による希釈倍率 (A) | 観測値による渇水時の希釈倍率 (B) | (A)/(B) |
|---------|------|-------------------------|--------------------|---------|
| 5 | 5 | 3.05 | 3.8 | 0.80 |
| 10 | 10 | 15.52 | 9.2 | 1.69 |
| 25 | 27 | 50.06 | 49.1 | 1.02 |

表-2-1 の結果より、AIST-SHANEL による結果は 5%ile 値、10%ile 値、25%ile 値のいずれもファクター2 以内である。AIST-SHANEL による月別流量の最小値を用いた結果を渇水時相当の希釈率として使用できるものと判断した。

なお、付表 1 と付表 2 に AIST-SHANEL を用いた結果（対象とする 109 の下水処理場からの放流地点における月別の河川流量の推定結果と月別の河川水希釈率の推定結果）を示した。

1 1年を通じて X 日はこれを下らない流量をいう。

ここで、渇水流量：X=355、低水流量：X=275、平水流量：X=185、富水流量：X=95 である。

2 独立行政法人製品評価技術基盤機構 化学物質管理センター（2007）平成 18 年度 化学物質の暴露評価に資する河川等の希釈率等に関する調査報告書、平成 19 年 1 月 http://www.safe.nite.go.jp/risk/pdf/h18fy_kasen_kisyakuritsu.pdf

3 AIST-SHANEL を使って希釈率を求める際、下水処理水量はモデルに内蔵されている平成 17 年度版下水道統計データを用いた。

2 今回の検証内容

3 AIST-SHANEL を用いた生活排水の河川水希釈率の検討結果

3.1 年間の流況を対象にした場合の生活排水の河川水希釈率

全国1級109水系内には3次メッシュで238,624あり、このうちAIST-SHANELでは地先排水量^{*3}が存在するメッシュは165,657^{*4}メッシュある。河川流量は2005年の毎月12ヶ月分あるため、河川水希釈率は165,657×12個、すなわち1,987,884個のデータを用いて希釈率を求めることができる。

表 3-1 対象データ数

| 地方整備局 | 全メッシュ | 排水量>0メッシュ |
|-------|--------|-----------|
| 北海道 | 45629 | 24381 |
| 東北 | 41509 | 29705 |
| 関東 | 30423 | 24583 |
| 北陸 | 29392 | 17253 |
| 中部 | 22081 | 14574 |
| 近畿 | 21452 | 15905 |
| 中国 | 18952 | 16000 |
| 四国 | 10245 | 7582 |
| 九州 | 18941 | 15674 |
| 合計 | 238624 | 165657 |

表 3-2 は 1,987,884 個の河川水希釈率を昇順に並べ替え、5、10、25 の各パーセンタイル値を求めたものである。

表 3-2 年間の流況を対象にした生活排水に係る河川水希釈率の推定結果

| パーセンタイル | 昇順順位 | 希釈倍率 |
|---------|--------|----------|
| 5 | 99394 | 1.60E+02 |
| 10 | 198788 | 2.30E+03 |
| 25 | 496971 | 1.50E+05 |

3.2 渇水時相当を対象にした場合の生活排水の河川水希釈率

2.2 での検証結果を踏まえて、安全側の希釈率として、月別流量の最小値を渇水流量相当と考えて生活排水の希釈率を求めた。つまり、各地点の月別流量の最小値である 165,657 個のデータを用いて希釈率を求めた。結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 渇水時相当を対象にした生活排水に係る河川水希釈率の推定結果

| パーセンタイル | 昇順順位 | 希釈倍率 |
|---------|-------|----------|
| 5 | 8282 | 9.60E+01 |
| 10 | 16565 | 1.20E+03 |
| 25 | 41414 | 9.20E+04 |

以上より、渇水時を想定した生活排水の河川水希釈率の 5%ile 値は、96 と推測される。

Appendix

*1 AIST-SHANEL による希釈率と各種定義による希釈率との比較

1) SHANEL による希釈率 D

SHANEL では下水道を経由しない地先排水に対する希釈率を求めている。

$$D = \frac{Q}{(q_1 + q_2 + q_3)}, \quad q_2 = 0.35 \times q_1 \dots\dots\dots \text{Eq.1}$$

ここに、 q_1 : 生活排水量、 q_2 : 都市活動排水量(生活排水量の 35%⁴を設定)、 q_3 : 工業排水量、 Q : 河川流量、 D : 希釈率である。

2) 生活排水の希釈率 D^*

生活排水に対する希釈率である。

$$D^* = \frac{Q}{q_1} \dots\dots\dots \text{Eq.2}$$

ここに、 D^* : 希釈率である。

ここで、 D^* を Eq.1 から導くと次式になり、 D^* は q_3/q_1 から求めることができる。

$$D^* = \frac{Q}{q_1} = D \left(1.35 + \frac{q_3}{q_1} \right) \dots\dots\dots \text{Eq.3}$$

3) 都市活動排水量と工業排水量を加味しない希釈率 D^{**}

希釈率 D^{**} は河川流量に工業排水量が含まれていない。

$$D^{**} = \frac{(Q - q_2 - q_3)}{q_1} = \frac{(Q - 0.35q_1 - q_3)}{q_1} = \frac{(Q - q_3)}{q_1} - 0.35 \dots\dots\dots \text{Eq.4}$$

ここで、 D^{**} を Eq.1 から導くと次式になり、 D^{**} は q_3/q_1 から求めることができる。

$$D^{**} = \frac{(Q - q_3)}{q_1} - 0.35 = D \left(1.35 + \frac{q_3}{q_1} \right) - \frac{q_3}{q_1} - 0.35 \dots\dots\dots \text{Eq.5}$$

4) 希釈率 D、希釈率 D^* 、希釈率 D^{**} の比較

未処理水の検討結果では、希釈率 D の 5% タイル値は 160 である。これを Eq.3、Eq.5 にそれぞれ代入すれば、希釈率 D^* と希釈率 D^{**} は q_3/q_1 から表-1、図-1 のように求められる。

この結果、希釈率 D^* および希釈率 D^{**} は、希釈率 D を必ず上回ることになる。

表-1 希釈率の推定結果

| q3/q1 | D | D* | D** |
|-------|-----|------|------|
| 0 | 160 | 216 | 216 |
| 1 | 160 | 376 | 375 |
| 2 | 160 | 536 | 534 |
| 3 | 160 | 696 | 693 |
| 4 | 160 | 856 | 852 |
| 5 | 160 | 1016 | 1011 |

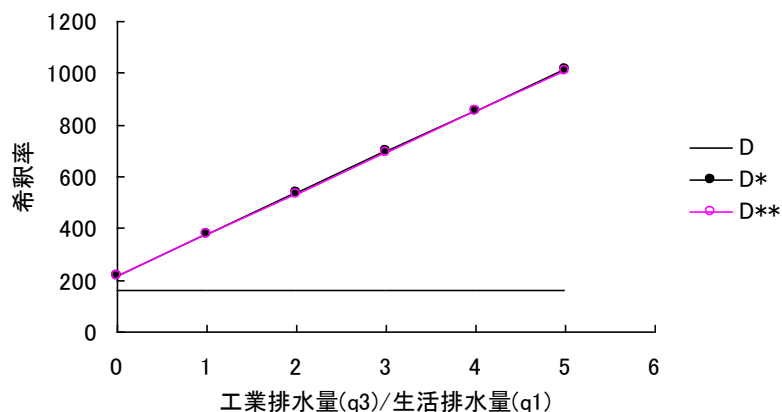


図-1 希釈率の比較

5) 希釈率 D、希釈率 D*、希釈率 D** の比較の一般化

AIST-SHANEL では $q_2=0.35 \times q_1$ と仮定しているが、この仮定に関わらず、一般的に希釈率 $D^* > \text{希釈率 } D^{**} > \text{希釈率 } D$ の関係が成り立つことが以下のように式変形によってわかる。

希釈率の定義を再度示す。

$$D = \frac{Q}{(q_1 + q_2 + q_3)} \dots\dots\dots \text{Eq.1}$$

$$D^* = \frac{Q}{q_1} \dots\dots\dots \text{Eq.2}$$

$$D^{**} = \frac{(Q - q_2 - q_3)}{q_1} \dots\dots\dots \text{Eq.4}$$

ここで、

$$D^{**} - D = \frac{(Q - q_2 - q_3)}{q_1} - \frac{Q}{(q_1 + q_2 + q_3)} = \frac{(Q - q_2 - q_3)(q_1 + q_2 + q_3) - q_1 Q}{q_1(q_1 + q_2 + q_3)}$$

$$= \frac{\{Q - (q_1 + q_2 + q_3)\}(q_2 + q_3)}{q_1(q_1 + q_2 + q_3)} > 0 \quad \text{となる。}$$

最後の不等号が成り立つ理由は、 $Q = \text{人為排水量} + \text{自然流量}$ （「1.3 (2) 希釈率の定式化」参照）で、 $\text{人為排水量} = q_1 + q_2 + q_3$ のため、 $Q - (q_1 + q_2 + q_3) > \text{自然流量} > 0$ であるためである。し

たがって $D^{**} > D$ となる。

また、明らかに $D^* > D^{**}$ なので合わせて、 $D^* > D^{**} > D$ が示される。

*² off : 人為排水を含まない自然流量

地下水を含む降水のみによって形成される流量のこと。具体的には、上水、工業用水、農業用水による取水や生活排水ならびに下水処理水等の排水を含まず、ダム等の水管理施設による流況調整がなされていない流量を自然流量と定義する。なお、自然流量は降水量による斜面からの表面流出と地下水を経由する中間流出から構成される。理論上、1年以上雨が降らないなど極端な気象状況以外では自然流量が0となることはない。

*³ 地先排出量

下水道を経由しない生活排水や工業排水に起因する排出量。AIST-SHANEL では、地先排水量を以下の式で示される①人口に係る汚水量(生活排水量と都市活動排水量)および②工業に係る汚水量の合計値と仮定している。

① 人口に係るメッシュ別汚水量(生活排水量+都市活動排水量) (m^3/day)

$$= \text{汚水量原単位 } 405(\text{L}/\text{人}/\text{day}) \times \text{メッシュ別人口}(\text{人}) \times 10^{-3}$$

ここで、汚水量原単位は生活排水量原単位 $300(\text{L}/\text{人}/\text{day}) \times \text{人口}(\text{人})$ に、都市排水量=生活排水量 \times 都市排水率 0.35 を加えたもの。都市排水量には営業排水(小さな店舗や事業所からの排水を含む)が含まれている。

② 工業に係るメッシュ別汚水量 (m^3/day)

$$= \text{業種別汚水量原単位}(\text{m}^3/\text{day}/\text{百万円}) \times \text{製造品出荷額}(\text{百万円})$$

これにより、各メッシュの希釈率は以下の式で計算される。

$$\text{希釈率} = \{ \text{流量} + \text{地先排水量} \} / \text{地先排水量}$$

$$= \{ \text{流量} + (\text{生活排水量} + \text{都市活動排水量} + \text{工業由来排水量}) \} / (\text{生活排水量} + \text{都市活動排水量} + \text{工業由来排水量})$$

*⁴ 地先排出量が存在するメッシュ数(165,657)について

本モデルの適用にはメッシュ単位の下水道普及率のデータが必要となるが、そのようなデータは存在しない。実態を反映したメッシュ毎の下水道普及率を設定するためには、各自治体の下水道計画図から下水道整備区域を地図情報として読み取り、メッシュに割り当てる方法が考えられる。しかしながら、これらの作業を全国109水系で行うことは時間的にも労力的にも不可能である。本調査では、人口密度が高い地域では下水道が普及している事実を利用し、自治体毎のメッシュ別人口を降順に並べ替え、累積人口が自治体別下水処理人口の実績値(下水道統計平成17年度版)に到達するまでのメッシュを下水道整備区域メッシュと定義し、そのメッシュの下水道普及率を100%、それ以外の下水道未整備区域メッシュの下水道普及率を0%と設定している。この結果、地先排出量が存在するメッシュは165,657となり、対象領域の合計のメッシュ個数238,624に対して割合が0.69となった。地先排出量が存

在しないメッシュの割合は 0.31 となり、これが下水道普及メッシュと考えられるが、人口ベースの下水道普及率（行政人口に対する下水道処理人口）の定義とは異なることに留意する必要がある。