

グローバルに適用が可能な化学物質河川濃度予測技術の開発

山根雅之・佐々友章(花王株式会社)、村田道拓・川口智哉(株式会社日水コン)、石川百合子・東野晴行(産業技術総合研究所)



1. 水環境暴露評価の課題と目指すモデルの姿

■ 水環境リスク評価とは

<ハザード評価>

水生生物に対する影響の把握

藻類、甲殻類、魚類を使った急性毒性・慢性毒性試験

予測無影響濃度(PNEC)

<暴露評価>

暴露実態の把握

モニタリング(観測)、暴露モデル

予測環境濃度(PEC)

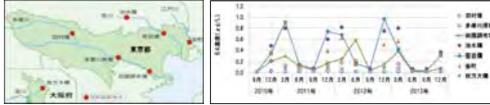
【水環境暴露評価の難しさ】

- ・対象範囲が**広い**
- ・**ダイナミック**に変化

リスク評価

■ 暴露評価の現状と課題

モニタリング 直接分析に基づく化学物質の存在実態の把握

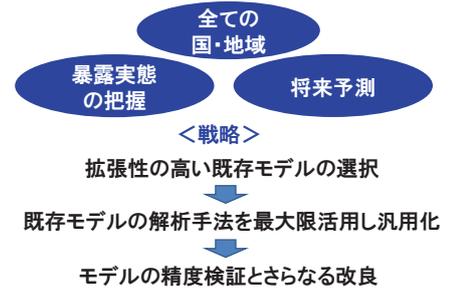


- 【課題】 ①対象範囲・時間が限定、②将来予測不可
③多大なコスト、リソース

暴露モデルが有用

- 【課題】 既存モデルの多くが先進国限定
(流量観測データの無い地域には適用不可)

■ 目指す姿と戦略



■ 目指すモデルの水準

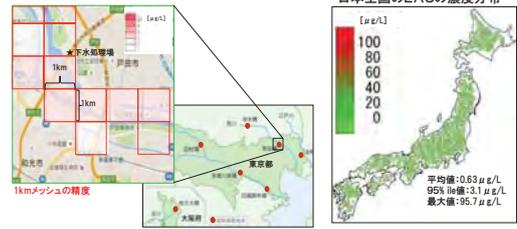
実環境に近い空間的・時間的分解能で暴露実態の解析が可能

	開発元	対象範囲		空間分解度	解析単位	流量推定手法	消失過程の再現
		世界の任意水系	特定の水系				
目標水準		○	○	1×1 km ²	月平均	計算	○
AIST-SHANEL Ver3.0	産総研	×	○(日本全国)	1×1 km ² 、250×250 m	月平均、日単位	計算	○
I-STREEM	米国石鹸洗剤工業会	×	○(北米のみ)	平均河道長 8.5 km	定常、濁水期	観測データ	○
GREAT-ER	ECETOC	×	○(欧州のみ)		定常、濁水期	観測データ	○
ScenAT	ユニリーバ	×	○(アジア・インドのみ)	45×45 km ²	年平均	観測データ	○

- ・網羅性がある
- ・排出量の推定が可能
- ・河川流量の正確な推定が可能
- ・化学物質の動態が考慮できる

➡ AIST-SHANEL¹⁾

■ AIST-SHANELの概要



多面的(面、点、時間)な視点で濃度の予測が可能

2. AIST-SHANELの活用とモデルのグローバル化

■ 河川流量の推定手法

$$\text{化学物質濃度} = \frac{\text{排出量}}{\text{河川流量}} \times \text{消失(生分解、吸着、揮発)}$$

モデルの精度を左右

<Kinematic wave法>

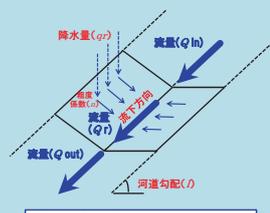
$$\frac{\partial Ar}{\partial t} + \frac{\partial Qr}{\partial x} = qr$$

$$Qr = \alpha Ar^{m_r}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{I}}{n} \left(\frac{m}{2\sqrt{1+m^2}} \right)^{1/3}$$

河道の横断面を1/mの三角形水路を仮定すると、

Ar: 流水断面積(m²)、Qr: 河川流量(m³/s)、qr: 横流入量(m²/s)、α: 係数、m_r: 係数(4/3)、I: 河道勾配(-)、n: 河道の粗度係数(m^{-2/3})



- 【流域データ】
- ・河川流下方向、降水量、標高(勾配)
 - ・土地利用(粗度係数)、人口分布

流域データのみで、全ての国・地域に適用の可能性

■ モデルに用いた流域データ

	解像度	名称	情報の種類、出典
流下方向	1 km	GDBD	(独)国立環境研究所
降水量	0.25° (30 km)	APHRODITE	総合地球環境学研究所 気象庁気象研究所
標高	0.00833° (1 km)	GTOPO30	米国地質調査所
土地利用	0.00833° (1 km)	GLCC ver.2.0	人工衛星写真から推定 (米国地質調査所)
人口分布	0.00833° (1 km)	GRUMP	人工衛星写真から推定 (Socioeconomic Data Application Center)

複数のグローバルデータを暴露モデルに活用(世界初)

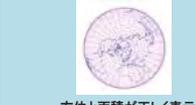
■ グローバル化における課題

データの規格統一

流域データには複数の座標規格が存在

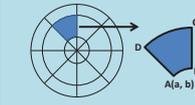
ランベルト正積方位座標

等緯度経度



方位と面積が正しく表示

緯度経度が直角かつ等間隔



ランベルト正積方位座標に統合

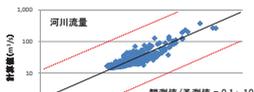
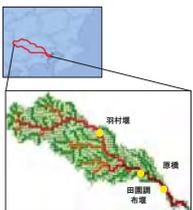
3. モデルの検証とジャワ島への応用

■ 日本とジャワ島における検証

検証物質: 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナ(LAS)

判断基準: 観測値²⁾/予測値 = 0.1~10

1. 日本(多摩川水系)

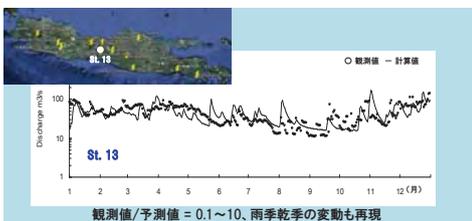


LAS濃度の観測値と計算値の比較(2005年)

Sites	羽村堰		原稿		田園調布堰	
	計算	観測	計算	観測	計算	観測
平均	0.51	0.45	9.5	3.3	5.6	5.5
最小	0.037	0.30	0.10	0.40	0.74	2.1
最大	1.6	0.80	13.3	6.9	9.8	9.4

観測値: 年4回観測、計算値: 月平均(12か月分)

2. ジャワ島(流量のみ)



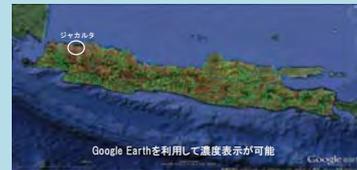
本モデルの推定手法の精度の高さを確認

■ モデルのジャワ島への応用(LAS)

1. 現状の把握

入力パラメータ³⁾

- ・分子量: 348.5 g/mol
- ・河川半減期: 0.75日
- ・Koc: 2500
- ・蒸気圧: 3.05 × 10⁻¹³ Pa
- ・下水処理場除去率: 0.99
- ・水使用量: 200 L/人
- ・LAS使用量: 1.42 g/日/人



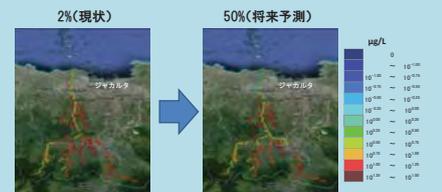
	ジャワ島	日本
平均値	12.6	0.63
95% ile	28.8	3.1

- ・都市部で濃度高い
- ・日本より相対的に濃度高い
- ・下水道普及率が反映

2. 未来予測

設定シナリオ ➡ 合併浄化槽の普及向上

- ・対象水系: チセダン川(ジャカルタ近郊の都市河川)
- ・浄化槽普及率: 2%(現状)→50%



任意の地域、水系における暴露実態の把握と将来予測が可能に

4. まとめ

既存モデルの推定手法とグローバルデータを使った汎用性の高い水環境暴露モデルの土台を構築した

適用範囲を東南アジアに拡大中

【対象国: 10か国】インドネシア、タイ、マレーシア、シンガポール、ベトナム、ミャンマー、ラオス、カンボジア、フィリピン、台湾

5. 参考文献

1. 国立研究開発法人 産業技術総合研究所安全科学部研究部門 AIST-SHANEL <http://www.aist-riss.jp/projects/AIST-SHANEL/>
2. 日本石鹸洗剤工業会 環境年報 2007年度 vol.31 ~ 2014年度 vol.39
3. Yamamoto et al. (2010) 水環境学会誌. 33(1), 1-10.

産総研—水系暴露解析モデル(AIST-SHANEL)による 日本全国の1級水系を対象とした化学物質濃度の推定

石川 百合子^{*,†} 川口 智哉^{**} 東野 晴行^{*}

Estimation of Chemical Concentrations in 109 Class A River Systems in Japan by AIST-SHANEL

Yuriko ISHIKAWA^{*,†}, Tomoya KAWAGUCHI^{**} and Haruyuki HIGASHINO^{*}

* The Research Institute of Science for Safety and Sustainability, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Onogawa 16-1, Tsukuba, Ibaraki 305-8569, Japan

** Nihon Suido Consultant Co., Ltd., 22-1 Nishi-Shinjuku 6-Chome, Shinjuku-ku, Tokyo 163-1122, Japan

Abstract

We have developed a watershed model named “AIST-Standardized Hydrology-based Assessment tool for chemical Exposure Load (AIST-SHANEL)”, which can estimate chemical concentrations over 109 Class A river systems in Japan for risk assessment. This model enables us to estimate monthly exposure concentration in a 1 km mesh with emission, climatic, geographical, sewage and industrial statistics in river systems in Japan. In this study, we estimated the linear alkylbenzenesulfonate (LAS) concentration over 109 Class A river systems and evaluated the reliability of this model. The calculated flow rates and LAS concentrations of the rivers were compared with the observed ones. The ratios of the calculation values to the observed values were within a factor of two, suggesting that the model was generally verified. This study suggested that the estimated spatial and temporal LAS concentrations of the rivers are influenced by flow rate, degradation rate and Koc. This model may be used to estimate the chemical concentrations of watershed areas without monitoring chemical concentrations in Japan, using which we can discuss the unknown and latent risk of chemical substances. This model will give us much useful information on aquatic risk assessment and watershed management in Japan.

Keywords: Watershed model; Aquatic risk assessment; Chemical concentration; Class A river system

1. はじめに

近年、水生生物の保全の観点から化学物質による水環境への影響が懸念されている。1990年代後半には内分泌かく乱化学物質、いわゆる環境ホルモンへの社会的関心が高まり、水環境中の化学物質に関する調査研究が進められてきた。生活や産業活動に伴って排出された化学物質は、生活排水や都市排水、工場排水とともに移動する。下水道が普及している地域では、これらの排水は下水処理場へ運ばれ、物理化学的に処理される。下水道が普及していない地域では合併処理浄化槽や小規模な排水処理施設が設置されており、ほとんどの排水は処理される。これらの処理で除去されずに残存した化学物質が河川流域や海域などの公共用水域へ流出する。したがって、河川流域の生態リスク評価は、流域での処理の状況を考慮したうえで、河川水濃度を推定する必要がある。一方、河川流域の化学物質の観測頻度は主要な河川で高々数地点、年に数回程度である。河川流量は降水量や気温等によって変動するため、化学物質の濃度も経時変化を

伴う。観測値を利用したリスク評価は観測値が存在しない地点や時期の潜在的なリスクを見逃す危険性ははらんでいる。日本全国の化学物質の河川水濃度を時間的、空間的に密に観測することは、経済的にも作業的にも困難である。

この状況下、全国の河川水濃度を推定する数値モデルが必要とされてきた。まず、河川流量の予測モデルには、岡澤ら¹⁾や芳村ら²⁾の日本全域0.1度(約10km格子)単位の河川流量予測システムがある。次いで、化学物質の濃度推定モデルには、(独)国立環境研究所の環境 multimedia モデル(G-CIEMS)³⁾がある。このモデルは日本全国を大気は2.5km格子、地表面は平均9.3km²の小流域、河川は平均河道長5.7kmの河道に分割している。しかしながら、これらの流量予測ならびに濃度推定モデルでは、河川流域の発生源と河川水濃度の関係を考察するには空間解像度が粗いうえ定常性を仮定しているため、生態リスク評価のためのモデルとして十分でない。(独)産業技術総合研究所では、日本全国109の1級水系を3次メッシュ(約1km格子)かつ月単位での化学物質の河川水濃度の

* 独立行政法人産業技術総合研究所安全科学研究部門環境暴露モデリンググループ 〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1

** 株式会社日水コン中央研究所 〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1 新宿スクエアタワー

† 連絡先: y-ishikawa@aist.go.jp

解析を可能とした産総研—水系暴露解析モデル (AIST-SHANEL)^{4,5)}を公開した。

本研究では AIST-SHANEL Ver.2.0 を使い, LAS を対象に日本域におけるケーススタディーを実施し, 我が国の気象や排出量等の条件下では, 化学物質の河川水濃度が時間的, 空間的に高解像度で推定できることを明らかにする。具体的には, 月単位や年平均値のオーダーが整合していることを確認するとともに, 観測値が得られることが少ない経時変化は負荷流出特性を分析することにより検証できることを示す。

2. モデルの概要

2.1 対象水系

AIST-SHANEL は 2004 年に多摩川水系等の 4 水系を対象とした Ver.0.8, 2005 年に利根川, 淀川, 木曽川等の 13 水系を対象とした Ver.1.0, 2010 年にモデルの解析領域を図 1 に示す全国 109 の 1 級水系へ拡張した Ver.2.0 を公開している。

2.2 解析フロー

図 2 に示す通り, AIST-SHANEL は流量解析, 排出量推計, 濃度解析の 3 つのサブモデルから構成され, 気



図 1 AIST-SHANEL Ver.2.0の対象水系

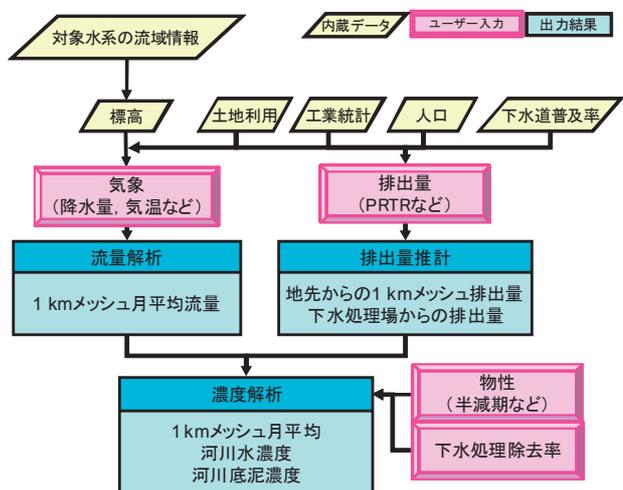


図 2 AIST-SHANEL の解析フロー

象データ, 化学物質の排出量, 蒸気圧, 半減期等の物性を入力すれば, 3 次メッシュ毎に河川流量や化学物質の河川水濃度を推定することができる。本来, AIST-SHANEL は非定常解析を実施するが, Ver.2.0 では日本全国の 1 級水系を対象にしていることから, CPU Time の短縮を図るべく月別の定常解析により経時変化を推定する。現在, このモデルには 109 水系の標高⁶⁾, 人口⁷⁾, 工業統計⁸⁾, 土地利用⁹⁾, 下水処理場¹⁰⁾等のメッシュデータが内蔵されている。

2.3 AIST-SHANEL Ver.2.0 での改良内容

ここでは, Ver.2.0 で改良した落水線の作成, 排出量推計, 化学物質動態解析の具体的な内容を述べる。なお, AIST-SHANEL における流量推定, 排出量推計, 化学物質動態解析のサブモデルについては石川・東海⁴⁾に記述した。

2.3.1 落水線の作成

従来, 落水線は標高に基づき作成する方法が多く, 低平地はもちろんのこと, 人工的に流路が整備されている流域には適用が困難である。仮に, 標高から落水線を作成しても, 実際の流路を再現できる保証がない。ここでは, 一般に入手が容易な国土数値情報の流路位置および流域界, 非集水界線位置データから 3 次メッシュを基準とする落水線を作成した。落水線は東西南北の 4 方向に定義する。この方法は標高データが得られない場合でも, 地図をデジタイジングして流路と流域界の位置データ (座標) を取得すれば, 落水線を自動的に定義することが可能であり汎用性は高い。

本モデルの落水線の作成においては, 単位流域数と単位流域名称を定義する流域界テーブル, 単位流域数と単位流域毎の頂点数およびその位置 (緯度経度座標) を定義する流域界ポリゴン, 単位流路数ならびに単位流路と下流に位置する単位流路との関係を定義する流路テーブル, 単位流路数と単位流路毎の頂点数およびその位置 (緯度経度座標) を定義する流路ポリラインの 4 種類のデータが必要となる (図 3 参照)。

ここで, 流域界と流路とは一対のもの, すなわち流域界と流路のテーブル数が等しくなるように設定する。

処理手順は次の Step1 から Step4 に示す通りである (図 4 参照)。Step1 において, 最下流のメッシュを決定した

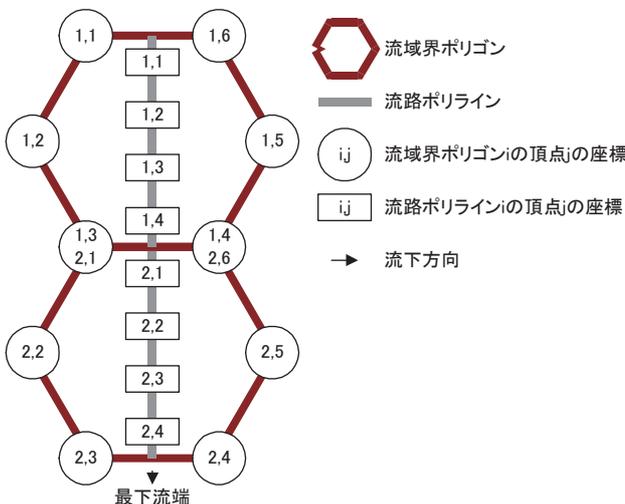


図 3 入力データに関する模式図

うえで、単位流路毎に河道位数を計算する。河道位数は Horton¹¹⁾が提案し、Strahler¹²⁾が改良した概念である。流域の最上流端の位数を1とし、同一位数uの2つの河道が合流して作られる河道の位数をu+1とするものである。ある位数uの河道にそれより小さい位数u-1の河道が合流しても、その河道の位数はuのままである。Step2では、Step1の流路に位置するメッシュを対象に、河道位数が高い流路から順に、流向を設定する(図4の赤色の矢印)。Step3では、Step2で定義した流向に隣接するメッシュの流向を設定する(図4の橙色の矢印)。流向が複数候補ある場合、最下流端に対して流下距離が短くなるよう流向を設定する(図4の×方向ではなく、○方向へ流向を設定)。Step4では、Step3で定義した流向に隣接するメッシュの流向を設定する(図4の緑色の矢印)。単位流域内で流向が未定義であるメッシュが無くなるまで、この作業を繰り返す。最終的に流向を決定できないメッシュが存在しないか、落水線の対向やループがないかを検証する。

2.3.2 排出量推計

PRTR (Pollutant Release and Transfer Register)¹³⁾の公表データを入力し、下水道を経由しない地先排出量と下水

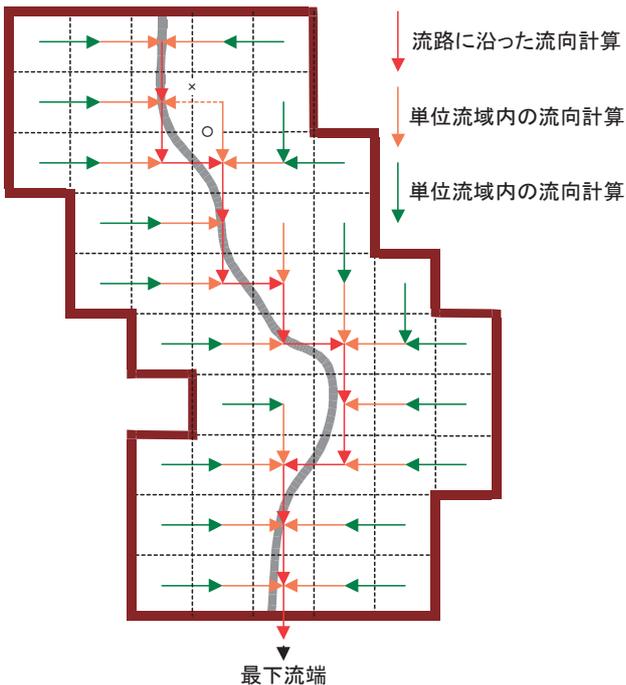


図4 落水線作成に係る処理手順の概念

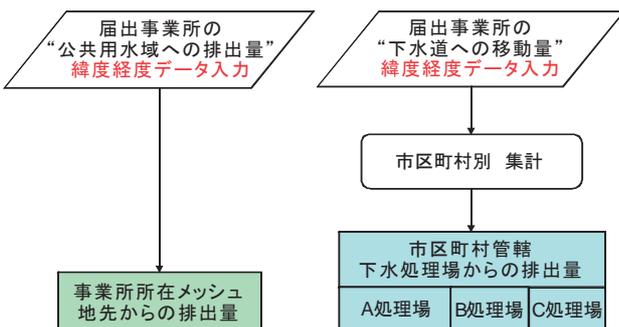


図5.1 届出事業所からの排出量の推計フロー

処理場からの排出量を推計する。ここでは、PRTRの届出事業所毎の排出量や都道府県別の排出量等より空間解像度の高い詳細なデータを入力し、排出量の面的分布の精度を向上させた。具体的には、図5に示す方法で排出量を推計する。ここで、3次メッシュ毎の下水道普及率は存在しないため、人口が多い地域に下水道が普及されているという仮定のもとで、市区町村毎にメッシュ人口⁷⁾を降順に並び替え、累積した人口が下水道普及人口¹⁰⁾に達するまでのメッシュの下水道普及率を1とし、それ以外は0とした。

(1) 地先排出量

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次メッシュに排出量を設定する(図5.1)。対象業種の事業者からのすそ切り以下の届出外排出量は、製造業は製造品出荷額、非製造業は従業員数を割り振り指標として、これに関する全国値に対する3次メッシュ値の割合を全国排出量に乗じることにより下水道未整備区域の3次メッシュに割り振る(図5.2)。非対象業種の事業者や家庭からの届出外排出量は、都道府県別排出量¹⁴⁾を入手できるため、それらの排出量を用途別に整理する。次いで、人口や土地利用の3次メッシュデータを割り振り指標として、これに関する都道府県値に対する3次メッシュ値の割合を都道府県別排出量に乗じることにより下水道未整備区域の3次メッシュに割り振る(図5.3)。

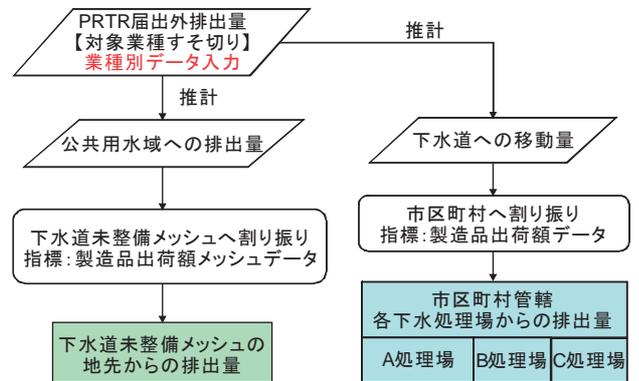


図5.2 対象業種の事業者からのすそ切り以下の届出外排出量の推計フロー

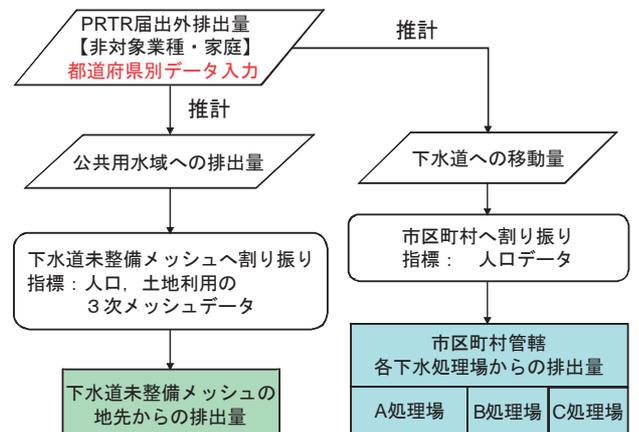


図5.3 非対象業種の事業者や家庭からの届出外排出量の推計フロー

(2) 下水処理場からの排出量

届出事業所の下水道への移動量は、所管する自治体の下水処理場へ割り付ける(図5.1)。対象業種の事業者からのすそ切り以下の下水道への移動量は、これに関する情報は存在しないため、届出事業所の公共用水域への排出量と下水道への移動量の比率から推定する(図5.2)。非対象業種の事業者や家庭からの下水道移動量は、都道府県別に公表されているデータ¹⁴⁾を市区町村別の下水道普及人口¹⁰⁾を重みとした比例配分によって市区町村別の下水道移動量を推定する(図5.3)。これら下水道への移動量の合計値を、処理水量を重みとして所管する自治体の単独下水処理場や流域下水処理場へ比例配分する。下水処理場からの排出量は下水処理での除去率を考慮する。地先排出量と下水処理場からの排出量は定常を仮定する。

2.3.3 化学物質動態解析モデル

濃度解析では図6に示す移流・拡散、沈降・巻上げ、生分解、SSとの吸脱着、大気沈着などのメカニズムを考慮した物質動態解析を通して、化学物質の河川水濃度を推定する。なお、本モデルで取り扱う分解速度は、水域における化学物質の代表的な動態メカニズムである微生物分解を対象としており、光分解や加水分解は考慮していない⁴⁾。

前述の通り、Ver.2.0では日本全国の1級水系を対象にしており、CPU Timeの短縮を図るべく月別の定常解析により経時変化を推定する。流量解析の境界条件には月平均の気象要素を与え、10日間の定常解析を実施する。流量、化学物質の河川水濃度ともに10日間で定常に到達することを確認している。

3. LASを対象にしたケーススタディー

ここでは、界面活性剤の1つである直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)を解析対象として、全国109

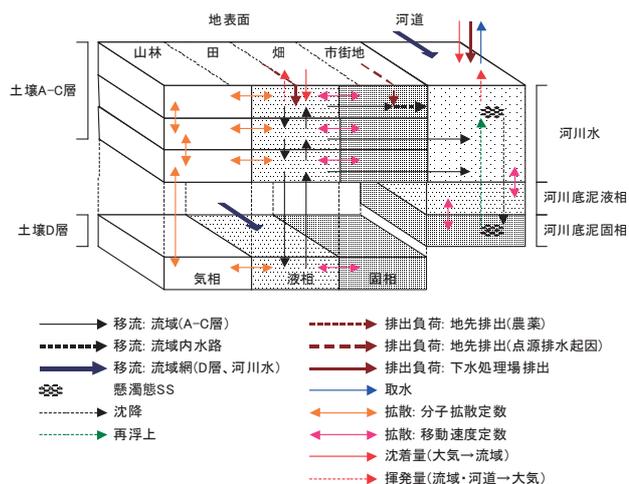


図6 化学物質動態解析で対象とするメカニズム

表1 PRTRデータに基づくLASの排出量 (t・year⁻¹)

	公共用水域への排出量	下水道への移動量
届出	40	17
届出外: すそ切り以下	114	178
届出外: 非対象業種・家庭	13,841	45,610

の1級水系の河川水濃度を推定し、モデルの検証ならびにモデルの有用性について考察する。

3.1 検討条件

モデルに適用する人口、自治体、下水処理場等のデータは2005年を基準としているため、モデル検証もこれに習い2005年を対象とする。表1はPRTRデータ¹³⁾に基づき推定したLASの公共用水域への排出量と下水道への移動量を示したものである。非対象業種および家庭の届出外排出量が届出排出量とすそ切り以下の排出量よりも二桁多かった。非対象業種および家庭の届出外排出量のうち、水域へ排出されるものは洗剤・化粧品等の界面活性剤となっている。

この排出量に基づき、下水処理場におけるLASの除去率を0.99¹⁵⁾として公共用水域への排出量を推定した。図7は3次メッシュでの地先と下水処理場とを合わせた排出量の面的分布を示したものである。排出量はその殆どが地先排出量であることから、人口の面的分布に同調した結果となった。

表2はモデルに入力した物性値を示したものである。LASは蒸気圧が低く水溶解度が大きい。河川水中の半減期は0.75日¹⁶⁾と短く、有機炭素水分配係数Kocは2,500 L・kg⁻¹¹⁶⁾と比較的大きい物性を有する。なお、本モデルでは、半減期に基づく分解速度係数は、アレニウスの式より温度依存性を考慮して推定している⁴⁾。

3.2 モデルの検証

ここでは、月単位および年平均での推定値と観測値とのオーダーを比較し、流量解析と濃度解析に係るモデル

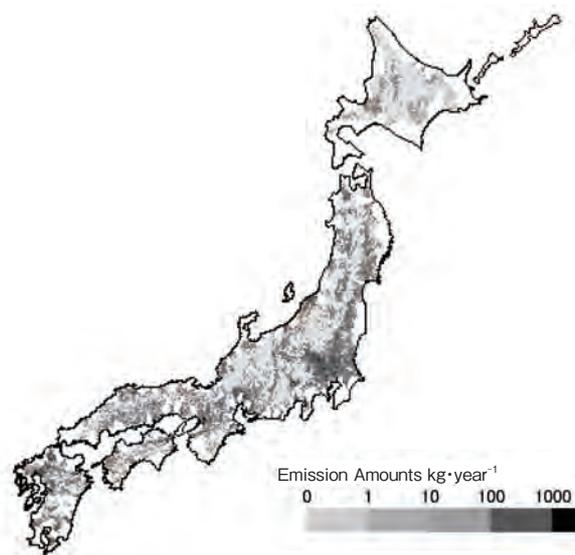


図7 排出量の面的分布

表2 モデルに適用したLASの物性値

入力項目	値	単位	出典
蒸気圧	3.05×10^{-13}	Pa	17)
分子量	342.4	g・mol ⁻¹	16)
水溶解度	2.5×10^5	g・m ⁻³	16)
有機炭素水分配係数	2,500	L・kg ⁻¹	16)
河川水中半減期	0.75	day	16)
河川底泥中半減期	22	day	18)
土壌中半減期	14	day	16), 19)
下水処理除去率	0.99	-	15)

を検証する。月単位の検証は観測が実施された月の河川水濃度の推定値と観測値で、年平均での検証は観測値および推定値それぞれの算術平均で、流量と河川水濃度の観測値と推定値を比較する。妥当性の判断基準に関して、観測値に対する推定値の比率が1/2から2 (Factor 2) 以内であることを目標とし、この範囲内であれば推定値は良好、この範囲外のうちの1/3から3 (Factor 3) 以内であれば推定値は概ね妥当であると考えた。

図8.1は全国109の1級水系における最下流に位置する流量観測地点の月単位流量²⁰⁾の観測値と推定値を示したものである。Factor 2は全データの67%、Factor 3は85%を占め、本モデルの月単位流量は概ね妥当であることが示された。年平均流量では、Factor 2が96水系、Factor 3が12水系、Factor 4が1水系となっており、年平均流量の推定精度は良好であると考えられた。

図9.1は2005年の河川水LAS濃度の月単位の観測値と推定値、図9.2は年平均水質の観測値と推定値を比較した結果を示したものである。観測値は利根川水系の金町、荒川水系の治水橋と笹目橋、多摩川水系の羽村堰、多摩川原橋および田園調布堰、淀川水系の枚方大橋の7地点における年4回(3, 6, 9, 12月)のデータ²¹⁾のみである。月単位の河川水濃度は、Factor 3が全データの67%、Factor 4が79%、年平均の河川水濃度はFactor 2の範囲であった。河川水濃度の観測値は年4回のある特定日時で得られたものであり、推定値は月別の定常解析

結果である。前者は瞬時値、後者は月別の代表値としての意味合いから、経時変化の直接的な検証(観測値と推定値との時別の一対比較)は困難であるものの、そのオーダーに関する精度評価は可能であると考え、概ね妥当であると判断した。河川水濃度の観測値は利根川、荒川、多摩川、淀川でのみ得られた状況にあり、今後、これら以外の河川でのモデル検証が必要である。

3.3 河川水濃度の時間的・空間的分布の特徴

図10(a)は全国109の1級水系内にある3次メッシュのうち、1級河川の流路に位置するメッシュを除いた月別LAS濃度の推定結果から濃度が0でないメッシュを抽出し、パーセントイル図を作成したものである。一方、図10(b)は1級河川の流路に位置する3次メッシュを対象に、同じくパーセントイル図を作成したものである。1月と7月の濃度に関して、両者の傾向は異なっていた。河川水の化学物質濃度を変動させる主な要因は、希釈、微生物分解、懸濁物質への吸着性の3つである。有機炭素水分係数Kocが大きい場合、本モデルでは懸濁物質への吸着性に関して、地先排出量は流域内に残存しやすいと考えて河川への流達率を小さくし、流達し得ない排出量は降雨流出に伴い掃流されると表現している。河川の水量が十分な水域では、主に上流域からの流出負荷量の状況を条件として、流量の季節変動および水温による分解の影響を受けることから冬季は濃度が高く、夏季は濃度が低くなる。河川水量が十分でない水域では地先

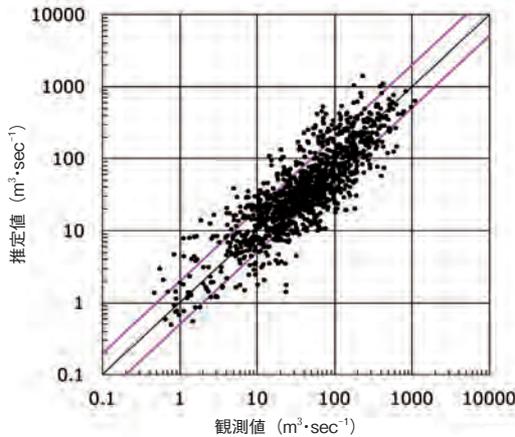


図8.1 月別流量の推定精度

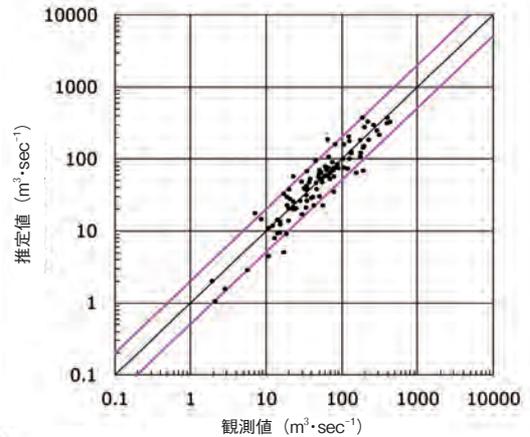


図8.2 年平均流量の推定精度

(- : Factor2)

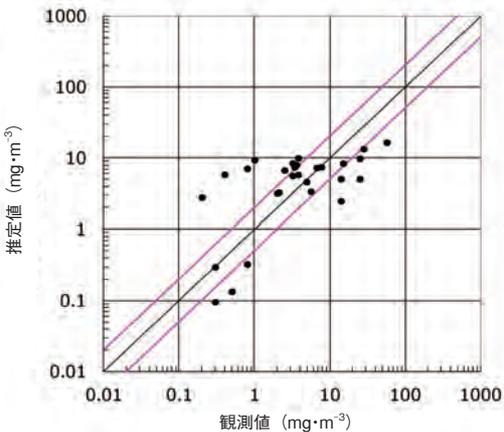


図9.1 月別河川水濃度の推定精度

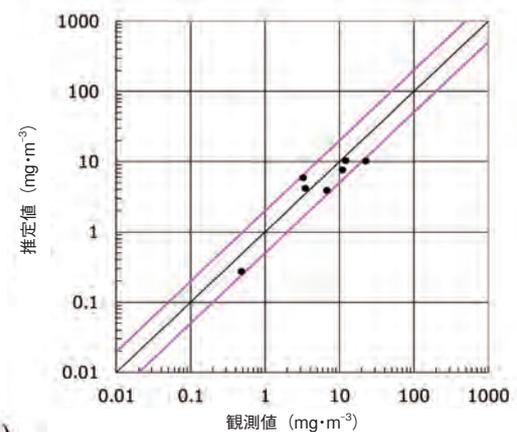
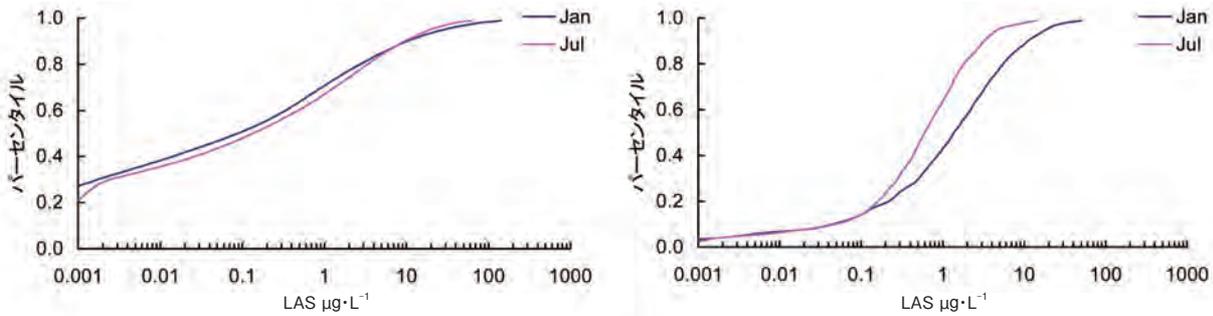


図9.2 年平均河川水濃度の推定精度

(- : Factor2)



(a) 1級河川を除くメッシュを対象

(b) 1級河川に位置するメッシュを対象

図10 河川水濃度のパーセンタイル図

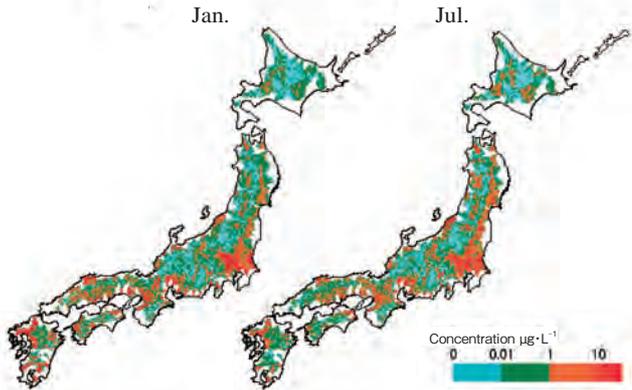


図11 河川水濃度の面的分布 (LAS)

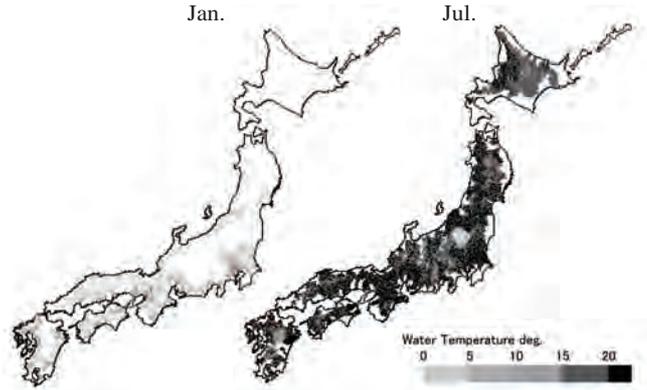


図13 河川水温の面的分布

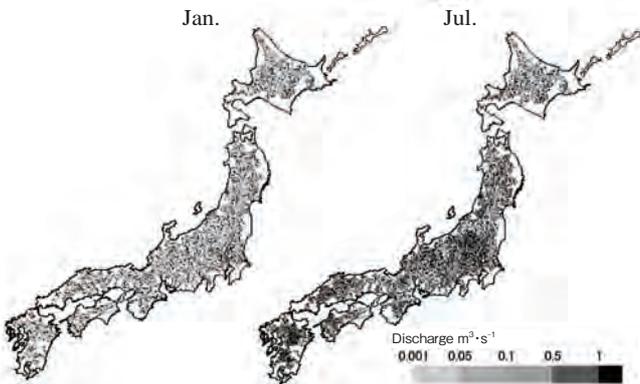


図12 河川流量の面的分布

排出量の河川への流達状況が河川水濃度を決定する主要因である。これは後述するように全国1級水系の面的分布の傾向として現れている。

1級河川以外のメッシュでは河川流量が大きな7月の河川水濃度(図10(a)参照), 1級河川のメッシュでは河川流量が小さな1月の河川水濃度が何れも高く(図10(b)参照)になっていた。図11は1月と7月の河川水LAS濃度の面的分布を示したものである。北海道, 関東北部から東北の太平洋側の地域に関して, 1級河川以外のメッシュでは7月の河川水濃度が高くなっていた。図12は推定した河川流量の面的分布を示したものである。1月の河川流量は日本全域で少なく, 7月は北日本を除いて流量が多い傾向にあった。図13は推定した河川水温の面的分布を示したものである。1月は日本全域で5℃未満と低く, 7月は20℃以上の地域が多かった。しかしながら, 1級河川以外のメッシュの1月の河川水

濃度は高くなく, 分解速度の違いは濃度に大きな影響を与えないことが示唆される。

前述の通り, LASのKocは比較的大きいうえ, 水域への排出量はその殆どが地先排出量である。このため, 地先排出量の殆どは流域内に残存するものの, 流量が多くなる7月には降雨流出に伴う掃流効果により河川水濃度が高濃度になるものと考えられる。このように, 化学物質の河川水濃度は希釈効果, 分解性, 吸着性等の要因が複合的に絡んでいるが, 本モデルを適用することにより, これらの関係を俯瞰的に考察することが可能となる。

また, 化学物質の観測値の経時変化が得られることは少なく, その妥当性を如何に判断するかが重要となる。ここでは, 濃度の経時変化を, 対象場の流量と負荷の流入形態から決定される負荷流出特性より評価した。まず, 推定された流量 Q と河川水のLAS濃度 C から流出負荷量 L を求めた。次いで, 負荷流出特性として式(1)に示すRating Curveの係数 β を同定した。

$$L \propto Q^\beta \dots\dots\dots(1)$$

既往の研究成果²²⁾よりアルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム (ABS) の負荷流出特性が得られたこと, ABSはLASと同じ界面活性剤で使用形態が類似することから両者の負荷流出特性を比較した。同研究成果²²⁾によれば, 多摩川の調布堰におけるABSの1959年~1975年の観測結果に基づき推定された β は0.25である。本モデルで得られた同地点におけるLASの β は0.21である。通年のデータを対象にすれば観測時期が異なっても β は大きく変化しないと考えられる。全国109水系を対象に濁水流量から豊水流量の範囲を想定したとき, 本研究

で推定されたLASの β が0.21の下での流出負荷量 L は、前出のABSの β が0.25のときのそれに対して25%以内の差であることから、LASの経時変化は妥当であると判断した。

今後、観測値の全く存在しない新規化学物質の河川水濃度の経時変化の妥当性を評価する場合に備え、本モデルを用いて化学物質の負荷流出特性と使用形態や物性との関係性を明らかにしていくことが必要となる。さらに、河川底泥に蓄積した化学物質を対象にしたリスク評価が要請されるものと考えられる。本モデルでは河川底泥濃度も推定可能であるが、検証に十分な底泥濃度の観測値が得られないため、現下では底泥濃度の妥当性を示すことができない。底泥濃度の推定においては、本モデルのSS濃度の推定精度を向上させる必要があり、例えば、SSの負荷流出特性を地域ごとに設定することが課題として挙げられる。

4. おわりに

従来のリスク評価は対象場（地点、時期）を限定し、この状況における観測値を利用したものであった。化学物質の水系内の河川水濃度をモニタリングより俯瞰することは、時間的、空間的に密に観測することが経済的、作業的に困難であることから現実的でない。このため、リスク評価には河川水濃度を推定する数理モデルが必要であるとの認識から、化学物質の生態リスク評価のための河川水濃度を推定する産総研-水系暴露解析モデル(AIST-SHANEL Ver.2.0)⁵⁾が公開されている。このモデルは全国109の1級水系を対象に、化学物質の河川水濃度を月単位かつ3次メッシュの解像度で推定するモデルである。

本研究では、本モデルをLASに適用した結果、日本域における複数地点の月単位および年平均の河川流量と河川水濃度に関して、推定値と観測値が整合していることを検証するとともに、河川水LAS濃度の月別変化および面的分布を捉えることができた。また、化学物質の観測値の経時変化は、対象場の流量と負荷の流入形態から決定される負荷流出特性より検証した。既往の研究成果よりABSの負荷流出特性が得られたこと、ABSはLASと同じ界面活性剤で使用形態が類似することから、両者のRating Curveの係数 β を比較した。この結果、全国109水系の濁水流量から豊水流量の範囲において、本研究で推定されたLASの β が0.21の下での流出負荷量 L は、前出のABSの β が0.25のときのそれに対して25%以内の差であることから、LASの経時変化は妥当であると判断した。本研究の成果より、本モデルはモニタリングでは捉えきれない潜在的なリスクを時間的、空間的な環境場に対して見逃さない評価を可能にしたものと考えられる。

課題としては、観測値が得られる物質に対する検証だけでなく、それが全く存在しない場合のモデルの妥当性についても評価することが挙げられる。

本研究により、モニタリングでは捉えきれない時間的、空間的な環境場にも、河川水の化学物質濃度の予測可能なことが示唆されたことから、今後は観測値の集積が十

分でない流域として、例えば諸外国にある流域への適用が期待できる。

謝辞

本研究は、平成19～22年度の新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成を受けて実施されたものである。ここに謝意を表します。

(原稿受付 2011年8月10日)

(原稿受理 2011年12月20日)

参考文献

- 1) 岡澤毅, 花崎直太, 沖大幹, 鼎信次郎, 芳村圭 (2005) 0.1度日本域河道網を用いた流量予報システムの開発, 生産研究, **57**, 380-384.
- 2) 芳村圭, 岡澤毅, H. Kim, 瀬戸心太, 小岩祐樹, 沖大幹, 鼎信次郎 (2007) 気象庁メソ予報モデルGPVを用いた日本域河川流量予測システムの構築と検証, 水工学論文集, **51**, 403-408.
- 3) 独国立環境研究所環境リスク研究センター 環境多媒体モデルG-CIEMS, <http://www.nies.go.jp/gciems/gciems.html> (2011年8月現在).
- 4) 石川百合子, 東海明宏 (2006) 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**, 797-807.
- 5) 独産業技術総合研究所安全科学研究部門 (2010) 産総研-水系暴露解析モデル, <http://www.aist-riss.jp/projects/AIST-SHANEL/> (2011年8月現在).
- 6) 助日本地図センター (1997) 数値地図250mメッシュ (標高).
- 7) 助統計情報研究開発センター (2005) 地域統計メッシュ.
- 8) 経済統計情報センター (2003) 工業統計メッシュデータ.
- 9) 国土交通省国土計画局 (1997) 国土数値情報 土地利用3次メッシュデータ.
- 10) 社日本下水道協会 (2005) 下水道統計.
- 11) Horton, R. E. (1945) Erosional Development of Streams and their Drainage Basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, *Bulletin of the Geological Society of America*, **56**, 275-370.
- 12) Strahler, Arthur, N. (1952) Hypsometric (Area-Altitude) Analysis of Erosional Topography, *Bulletin of the Geological Society of America*, **63**, 1117-1142.
- 13) 環境省PRTRインフォメーション広場, <http://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html> (2011年8月).
- 14) 環境省PRTRインフォメーション広場, PRTR届出外排出量の推計方法, 届出外排出量の推計方法等の概要, http://www.env.go.jp/chemi/prtr/result/todokedegai_siryu.html (2011年8月現在).
- 15) 日本石鹼洗剤工業会 (2003) もっと良く知ってほしい洗剤, http://jsda.org/w/01_katud/a_seminar012.html (2011年8月現在).
- 16) HERA (2009) Human & Environmental Risk Assessment on ingredients of European household cleaning products LAS Linear Alkylbenzene Sulphonate, Version 4.0.
- 17) U. S. EPA EPI Suite™ v4.10, <http://www.epa.gov/opptint/exposure/pubs/episuitel.htm> (2011年8月現在).
- 18) 矢可部芳洲, 江藤千純, 松延保子, 勝浦洋, 三浦千明, 吉村孝一 (1991) モデル試験系を用いた多摩川底質における直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)の生分解性, 水質汚濁研究, **14**(3), 174-181.
- 19) 菊地幹夫, 本波裕美, 上野英世 (1992) 直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩(LAS)の底泥での濃度及び分解, 東京都環境科学研究所年報, 262-263.
- 20) 社団法人日本河川協会 (2010) 流量年表 第58回 平成17年.
- 21) 日本石鹼洗剤工業会 (2006) 環境年報, **31**, 8-10.
- 22) 山口高志, 吉川勝秀 (1980) 河川の水質・汚濁負荷量に関する研究 (II) - 水質・負荷量の水文的なシミュレーションおよび限られたサンプルによる総負荷量の推定を中心にして -, 土木研究所報告, **154**, 1-43.

[論文要旨]

化学物質の水系内の河川水濃度をモニタリングより俯瞰することは、時間的、空間的に密に観測することが経済的、作業的に困難であることから現実的でない。この認識の下、全国 109 の 1 級水系を対象に化学物質の河川水濃度を月単位かつ 3 次メッシュの解像度で推定する産総研—水系暴露解析モデル (AIST-SHANEL Ver.2.0) が開発されている。本研究では、このモデルを直鎖アルキルベンゼンスルホン酸塩 (LAS) に適用した結果、複数地点の月単位および年平均の河川流量と河川水 LAS 濃度に関して推定値を検証するとともに、月別変化や面的分布を捉えることができた。また、化学物質の観測値の経時変化が得られることは稀で、これを負荷流出特性から検証した結果、LAS の経時変化の妥当性が判断できた。本研究により、本モデルはモニタリングでは捉えきれない潜在的なリスクを時間的、空間的な環境場に対して見逃さない評価を可能にしたものとする。

キーワード：化学物質；生態リスク；1 級水系；河川水濃度；モデル