

マテリアルフロー分析を用いた マイクロプラスチック河川流下モデルの 荒川流域への適用

○ 東京都立大学大学院	都市環境科学研究科	大貫	駿太
東京都立大学大学院	都市環境科学研究科	今村	能之
東京都立大学大学院	都市環境科学研究科	小西	徹
東京都立大学大学院	都市環境科学研究科	天口	英雄

1. 背景と目的
2. 研究手法：概要
3. マテリアルフロー分析（日本）
4. MicP排出量のマッピング（荒川）
5. 流量・流速の推定（荒川）
6. MicP流下量の推定（荒川）
7. 結論

1. 背景

マイクロプラスチック（MicroPlastic: MicP）汚染は世界的な環境問題となっている。



図-1 プラスチック汚染の様子
（著者による撮影 2023年4月11日）



図-2 海岸におけるプラスチックごみ
（著者による撮影 2024年12月30日）

観測ベースの研究：主要な排出源・排出プロセスの特定には至っていない

モデリングベースの研究：対象とするMicPが限定的である

表-1 国内のMicPに関する研究

調査・研究		課題
観測	Nihei et al. (2020) ¹⁾	MicP観測値と人口密度・都市化率との $R^2 < 0.25$
	一社 ピリカ ²⁾	観測データの分析が現状少ない
モデリング	環境省 ³⁾	河川への流出を海洋への流出とみなしている
	Ono et al. (2024) ⁴⁾	PCPs, 繊維, タイヤと限定、観測値との比較なし

1. 目的



TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY
東京都立大学

目的

- マテリアルフロー（Material Flow: MF）分析を用いたMicP河川流下モデルの開発
- MicPの流域内における排出プロセスの特定

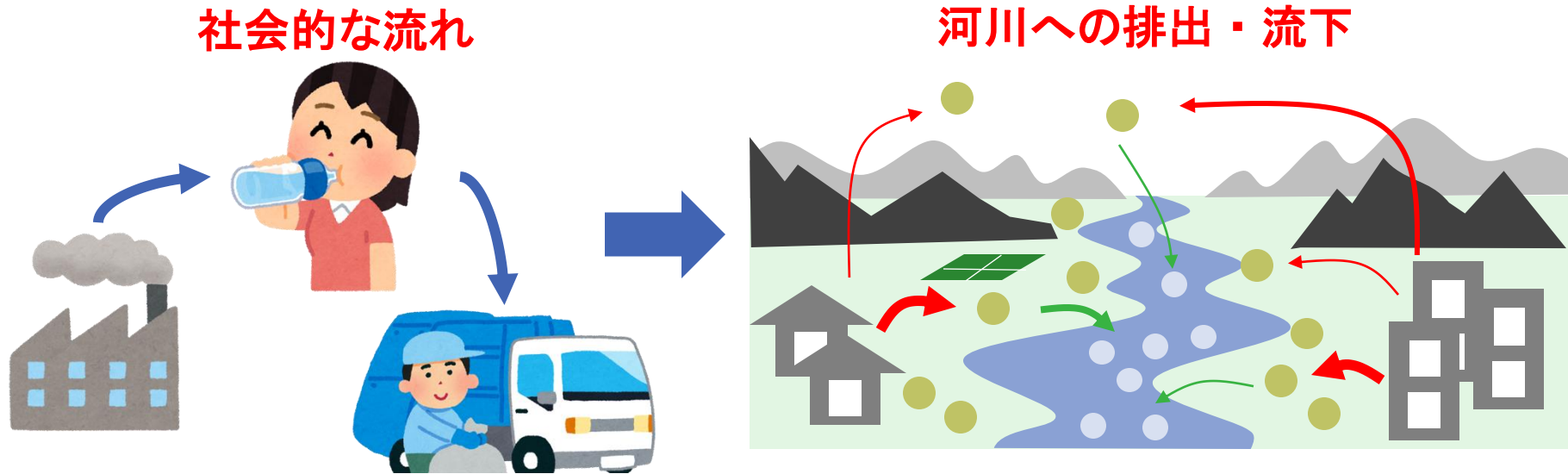


図-3 本研究の流れ

意義：個別のプラスチック削減施策による河川中のマイクロプラスチック量削減効果の定量的評価が可能となる



2020年7月1日より
レジ袋有料化がスタートします。

素材の変更?⁵⁾

レジ袋の減少?⁶⁾



図-4 プラスチック削減政策の例

2. 研究手法：概要



TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY
東京都立大学

Kawecki et al.(2018, 2019, 2020)⁷⁻⁹⁾, Mennkes et al. (2023)¹⁰⁾の手法を適用・改善
対象とするプラスチック：2020年に生産・輸出入
LDPE・HDPE・PP・PS・EPS・PVC・PET（全体の76%）

マテリアルフロー分析

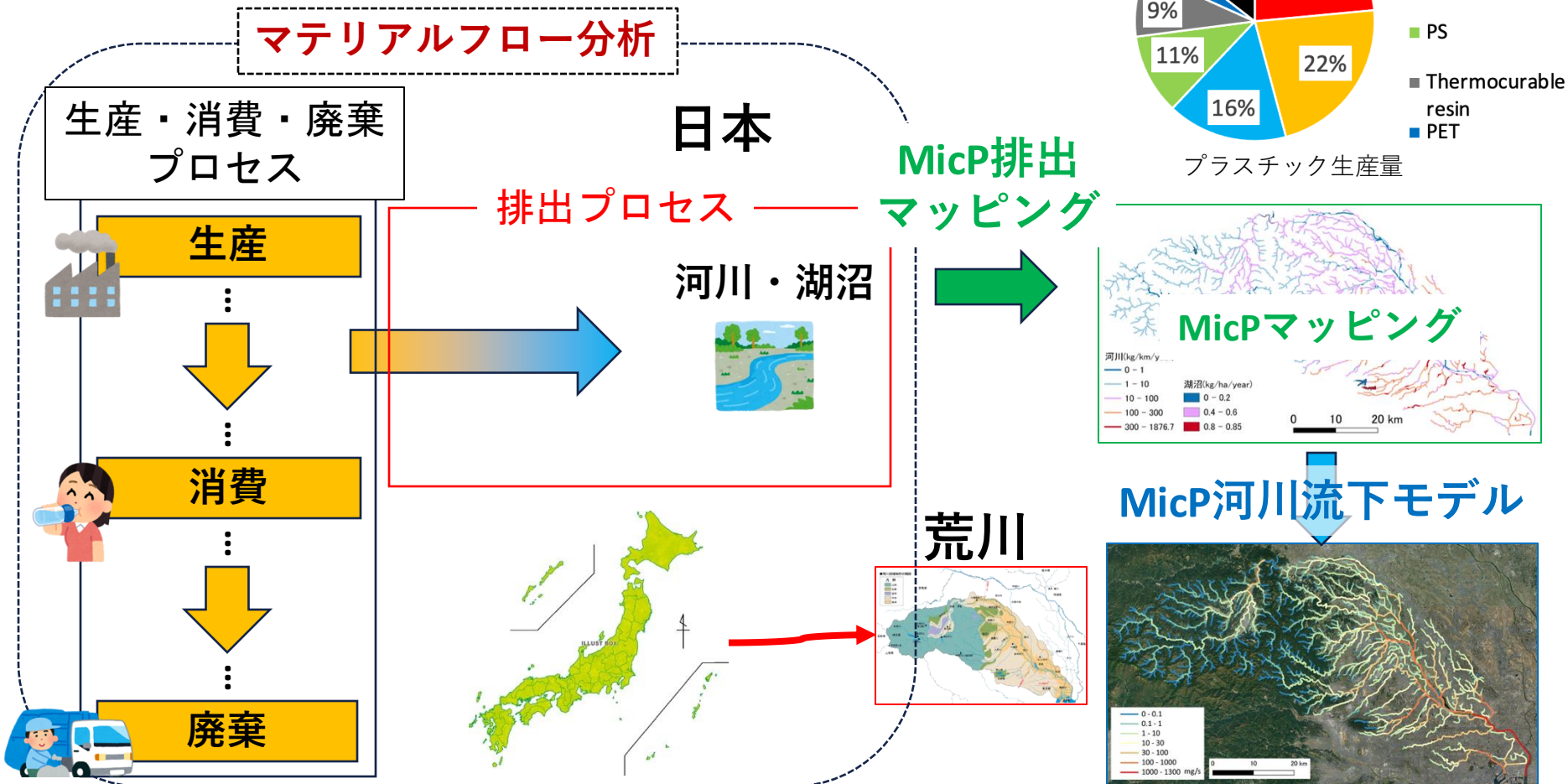


図-5 本研究手法

3. マテリアルフロー分析（日本）：手法

Kawecki et al. (2018, 2019) ⁷⁻⁸⁾の手法をもとに、日本の統計データ^{3, 11-17)}を用いて日本に適用可能なMFを構築

マテリアルフロー

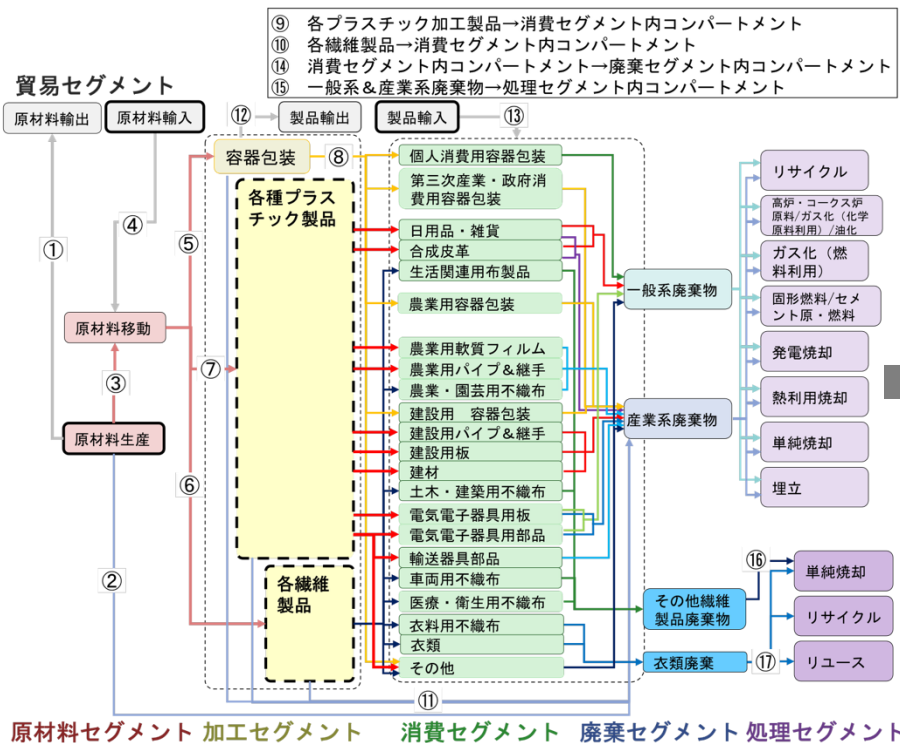


図-6 生産・消費・廃棄プロセス

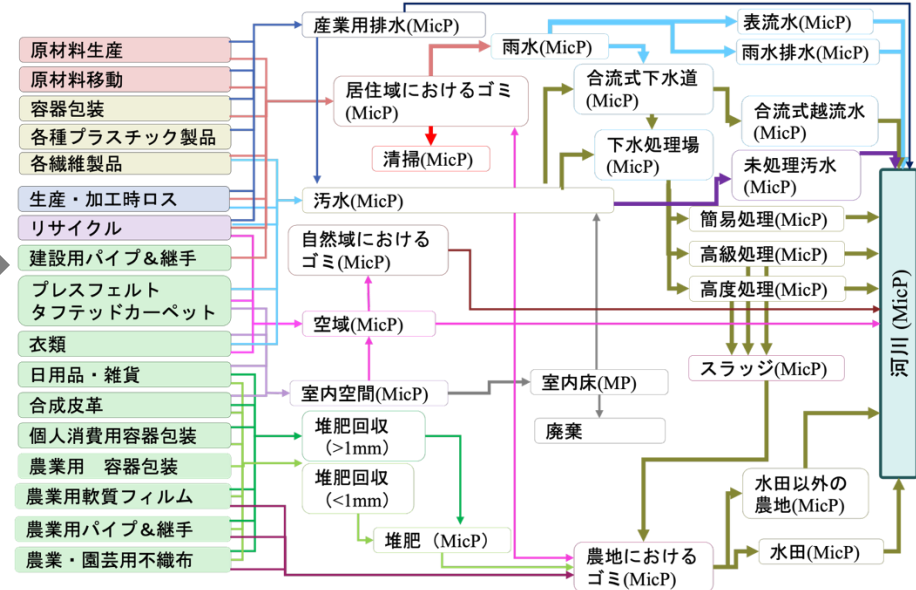


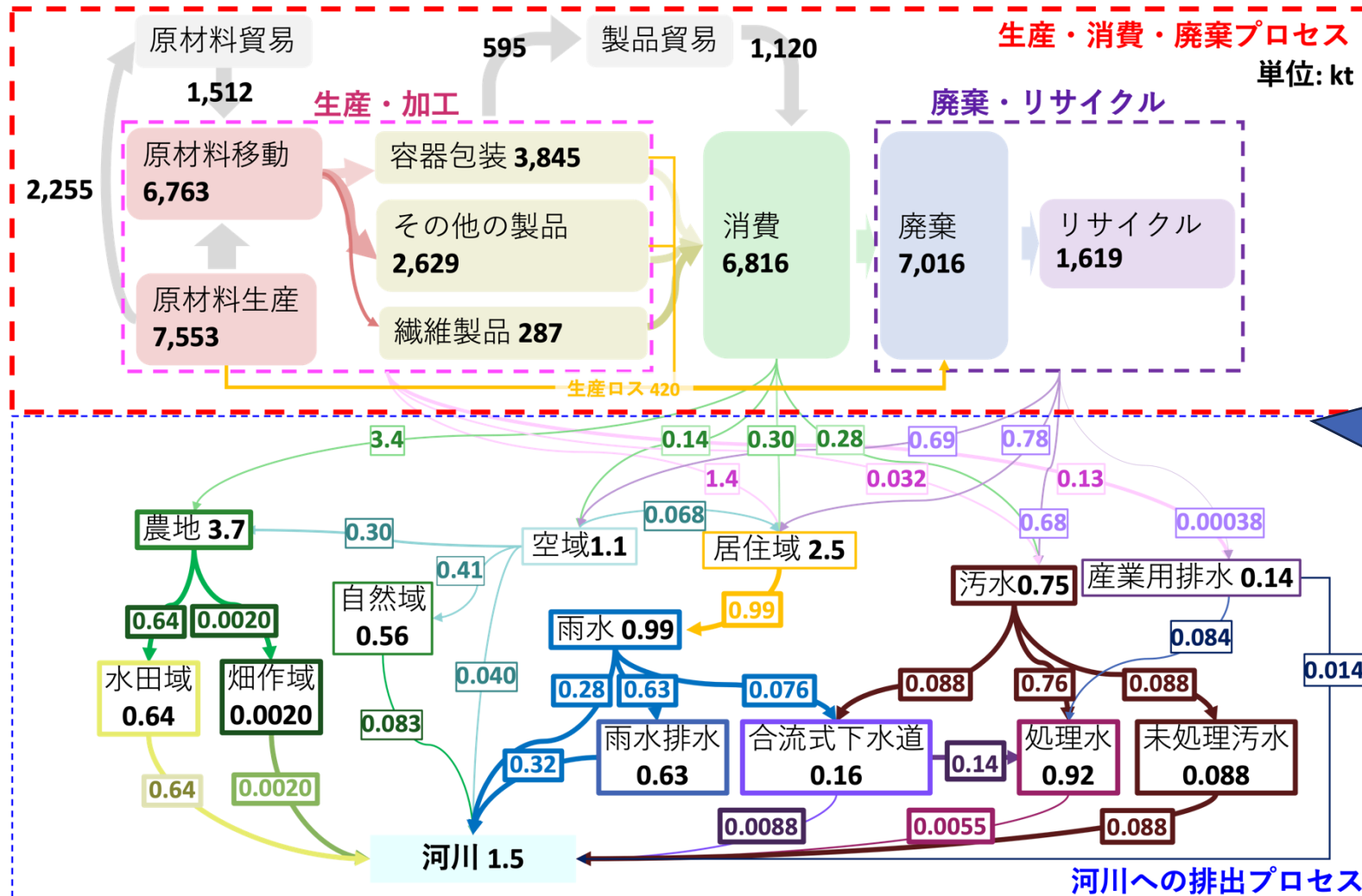
図-7 河川への排出プロセス

- 分析手法にProbabilistic Material Flow Analysisを用いた

3. マテリアルフロー分析（日本）：結果

2020年のプラスチックの原材料生産は約7,500 kt

MicPの河川への推定排出量は約1.5 kt



新たなマ
テリアル
フロー

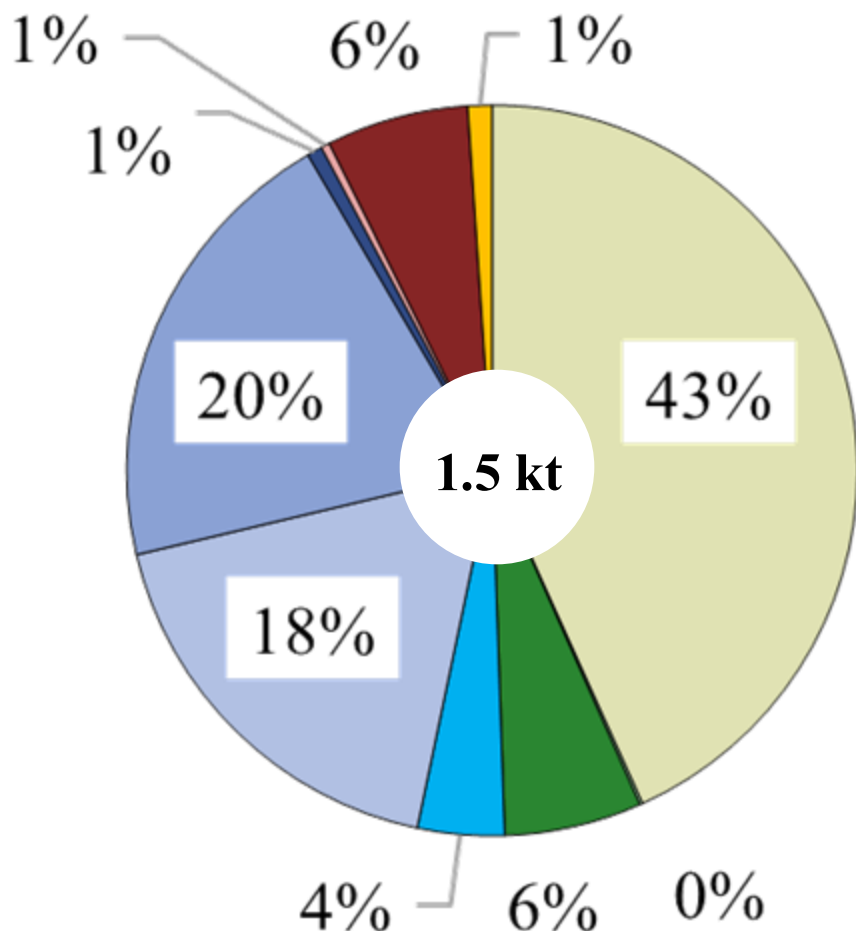
図-8 MF分析の結果

3. マテリアルフロー分析（日本）：結果

河川へのMicP排出源別分類

主な排出源

：水田，表流水，雨水排水



- 水田域
- その他農用地
- 自然域
- 空域
- 表流水
- 雨水排水
- 合流式越流水
- 処理水
- 未処理污水
- その他

表流水：

地表面から直接河川へ排出

雨水排水：

雨水管を經由して河川へ排出
分流式下水道エリアでのみ排出

図-9 プラスチック排出源別MicP排出割合

4. MicP排出量のマッピング（荒川）

1. 日本におけるMicPの河川への排出量を荒川流域への排出量へ変換

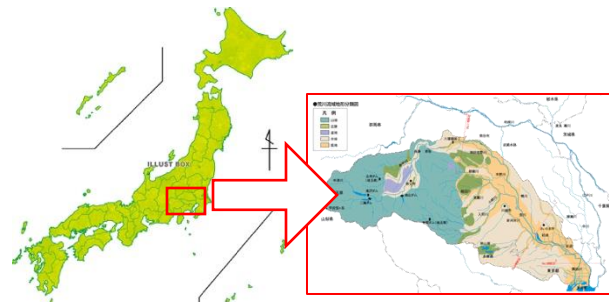


図-10 日本から荒川流域への変換

例	変換
水田	水田からのMicP量 $\times \frac{\text{荒川流域水田面積: } 160\text{km}^2}{\text{日本水田面積: } 23,350\text{km}^2}$
表流水	表流水からのMP量 $\times \frac{\text{荒川流域人口: } 1,080 \text{ 万人}}{\text{日本人口: } 1.26 \text{ 億人}}$

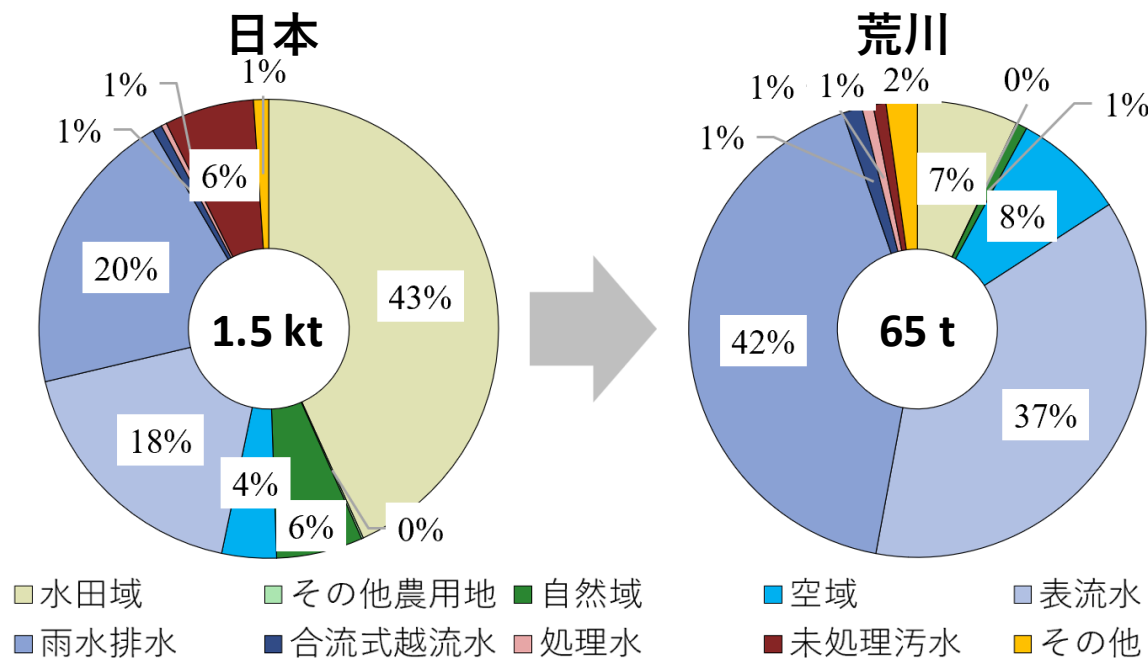


図-11 日本から荒川流域へのMicP排出量 変換結果

4. MicP排出量のマッピング（荒川）

2. MicP排出量のマッピング

一つの河川セグメントへのMicP排出量 = $\frac{value}{\sum_i value_i}$ · 荒川流域への全MicP排出量

$$\text{表流水}_i = \frac{Pop_i}{\sum_{j=1}^n Pop_j} \cdot \text{表流水}_{all}$$

Pop_i : バッファ内人口

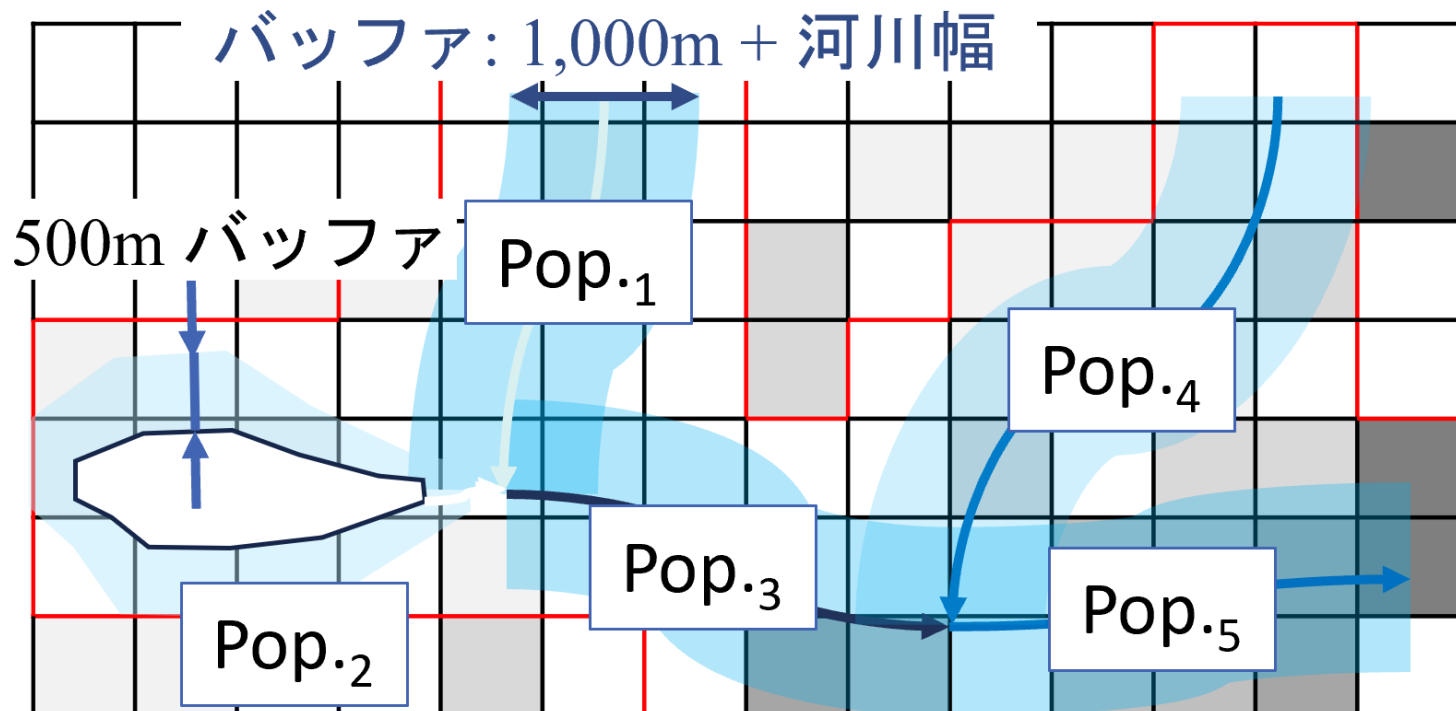


図-12 表流水からのMicP排出量の分布推定に用いる各河川湖沼の重み計算の手法

4. MicP排出量のマッピング (荒川)

荒川流域内河川へのMicP排出量 約65 t / year.
さいたま市付近は分流式下水道整備地区¹⁸⁾のためMicP排出量が多いと推定.

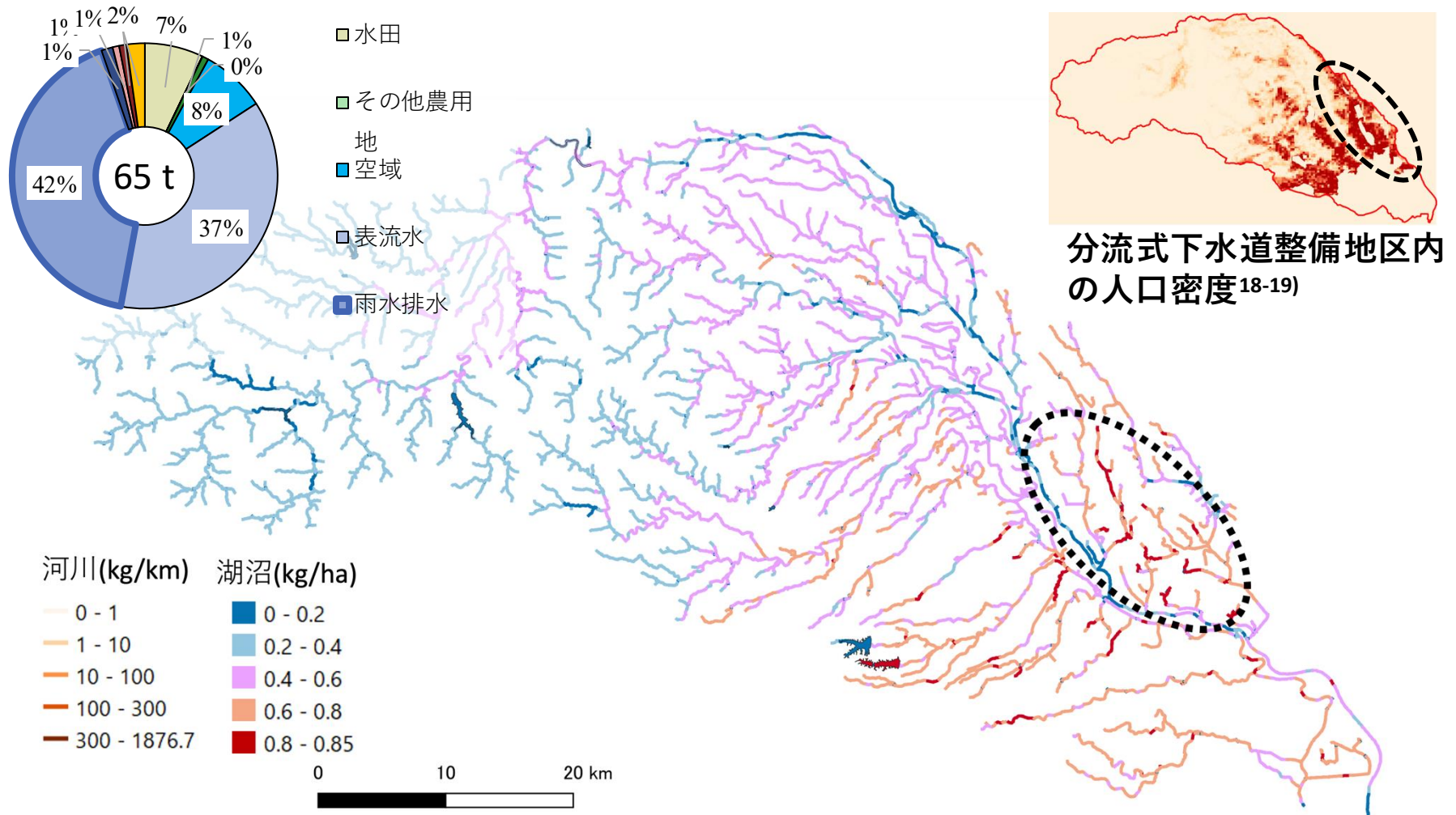


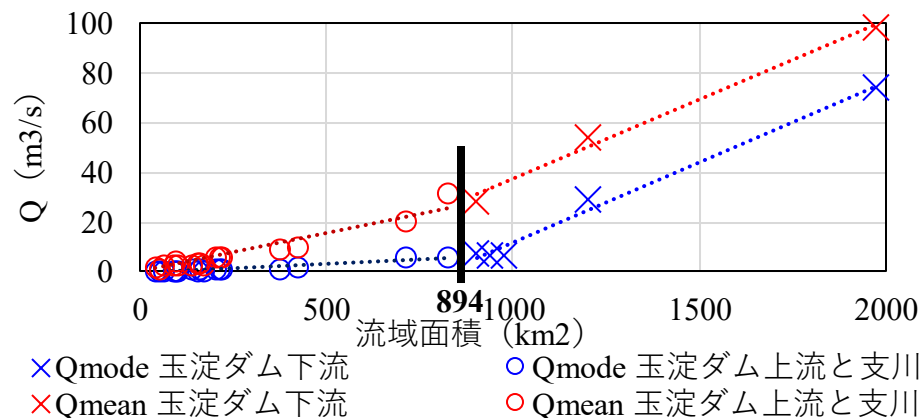
図-13 河川湖沼へのMicP排出量の河川区間毎の分布推定結果

5. 流量・流速の推定（荒川）

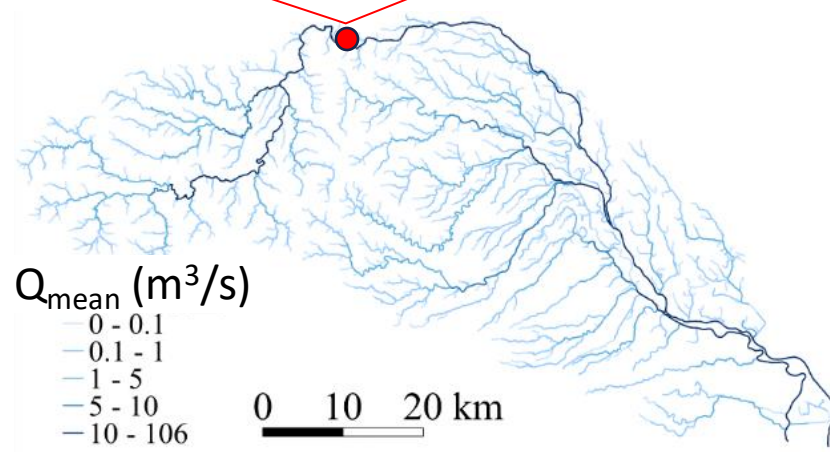
日流量データ²⁰⁾と流域面積²¹⁾から流量を推定

1989～2022年の日流量データから各年の最頻値・平均値を計算し、それぞれの平均値を算出

Q_{mean} : 平均流量, Q_{mode} : 最頻流量



玉淀ダム: 流域面積 = 894km² ²²⁾



$W = 5A^{0.35}$ ²³⁾

$W \times D$

D

n : 粗度係数²⁴⁻²⁵⁾
 I : 傾斜

$$\frac{nQ}{I^{1/2}} = DW \left(\frac{DW}{2D + W} \right)^{2/3}$$

等式を満たすDの算出

Velocity = $Q / (W \times D)$

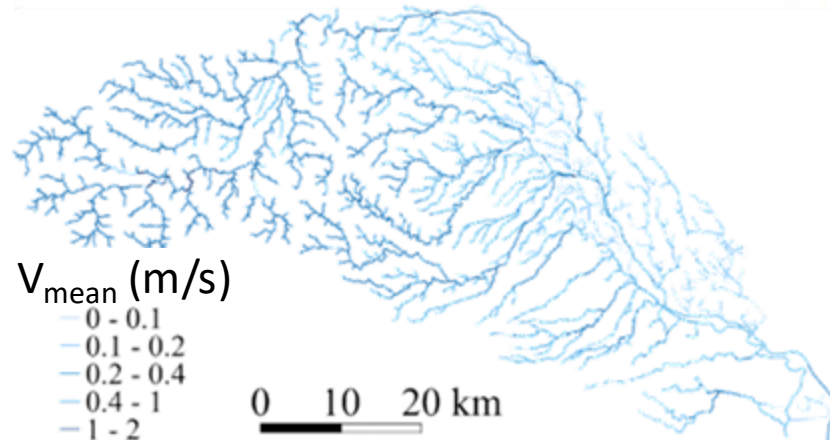


図-15 河川流量・流速推定手法と推定結果

6. MicP流下量の推定（荒川）

MicPのマッピング・河川流速から MicP流下量を推定

MicPの沈降・再懸濁・堆積量を計算⁹⁾

沈降率の計算式

河川： $s_{river} = 1 - e^{-river\ length/v_{river} \times b_i}$

湖沼： $s_{lake} = C(1 - e^{-k_1 A_{reservoir}})$

表-2 MicPの沈降・再懸濁・堆積割合

	プラス チック	河川	湖沼	
		b_i (/s)	C	k_1
沈降	EPS	0	0.475	0.004
	PP	5.05×10^{-8}	0.7125	0.004
	LDPE	2.565×10^{-7}	0.95	0.004
	HDPE	2.565×10^{-7}	0.95	0.004
	PS	1.1158×10^{-6}	0.95	0.004
	PVC	1.5×10^{-5}	0.95	0.012
	PET	2.5×10^5	0.95	0.012
再懸濁	All	3%	0%	
堆積	All	10%	100 %	

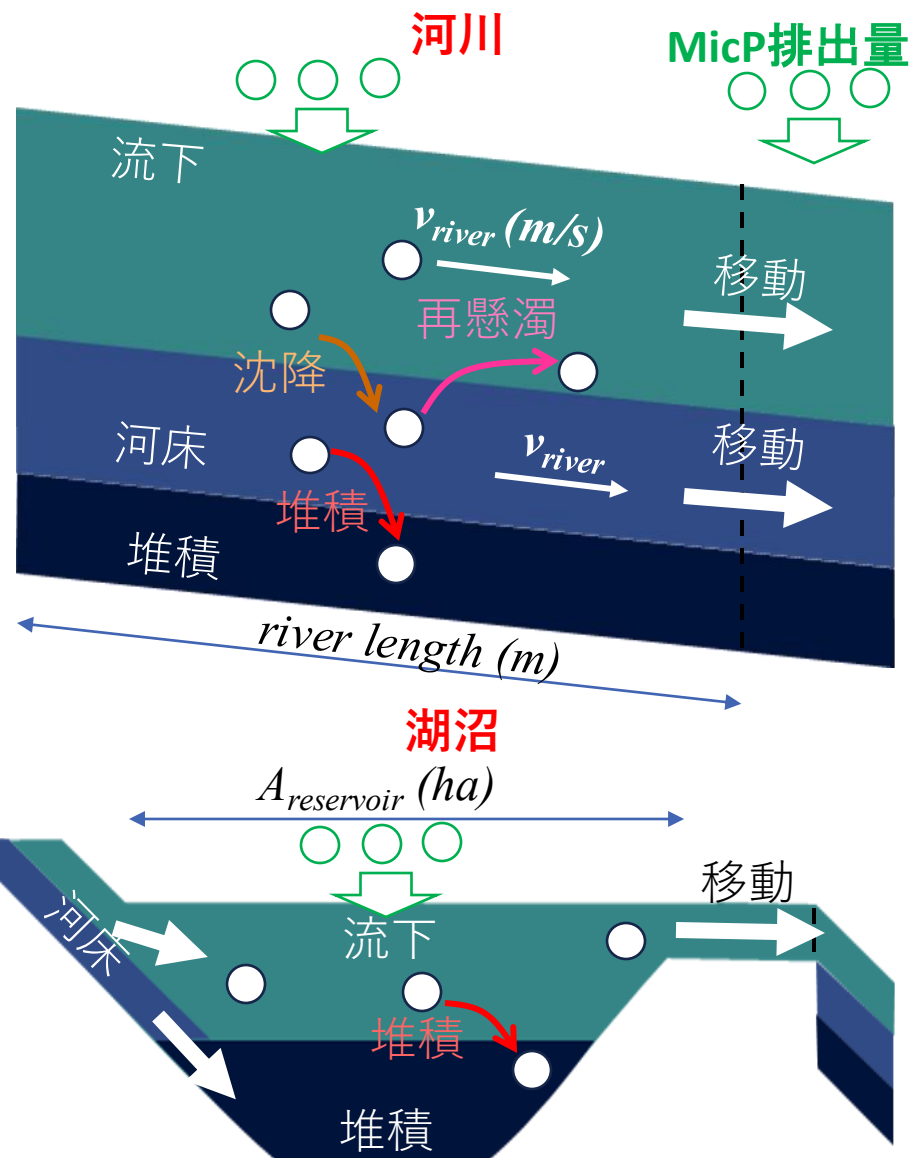


図-16 河川・湖沼におけるMicPの沈降・再懸濁・堆積 p. 12

6. MicP流下量の推定（荒川）

河口部では約1,300 mg/sのMicPが流下
主要な支川においても約100 mg/sが流下

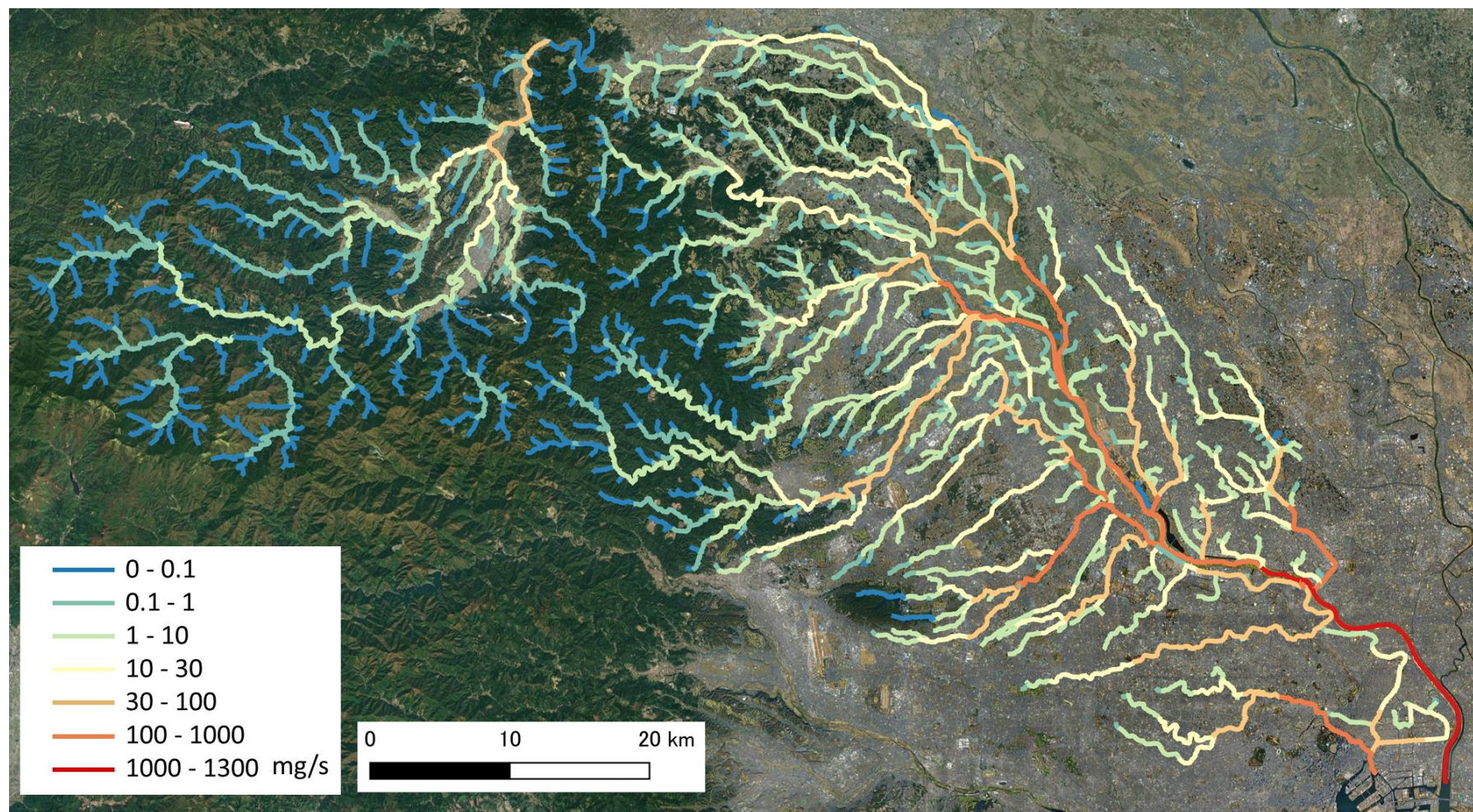


図-17 MicP流下量推定（平均流量時）

6. MicP流下量の推定（荒川）

MicPの推定質量密度 (mg / m³) = 流下量 (mg/s) / 流量 (m³/s)
観測値²⁾との比較を実施

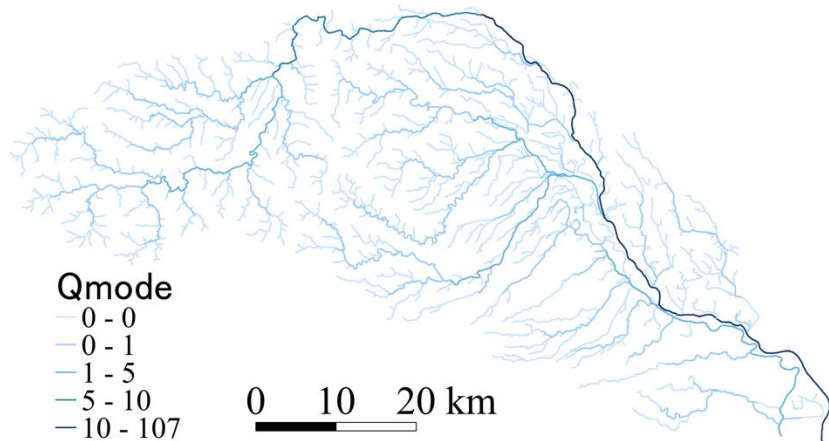
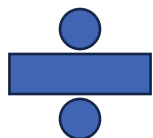
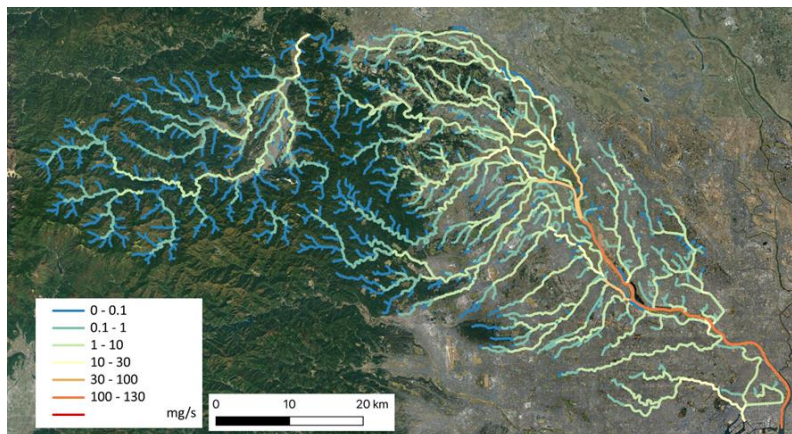


図-18 MicP質量密度推定イメージ

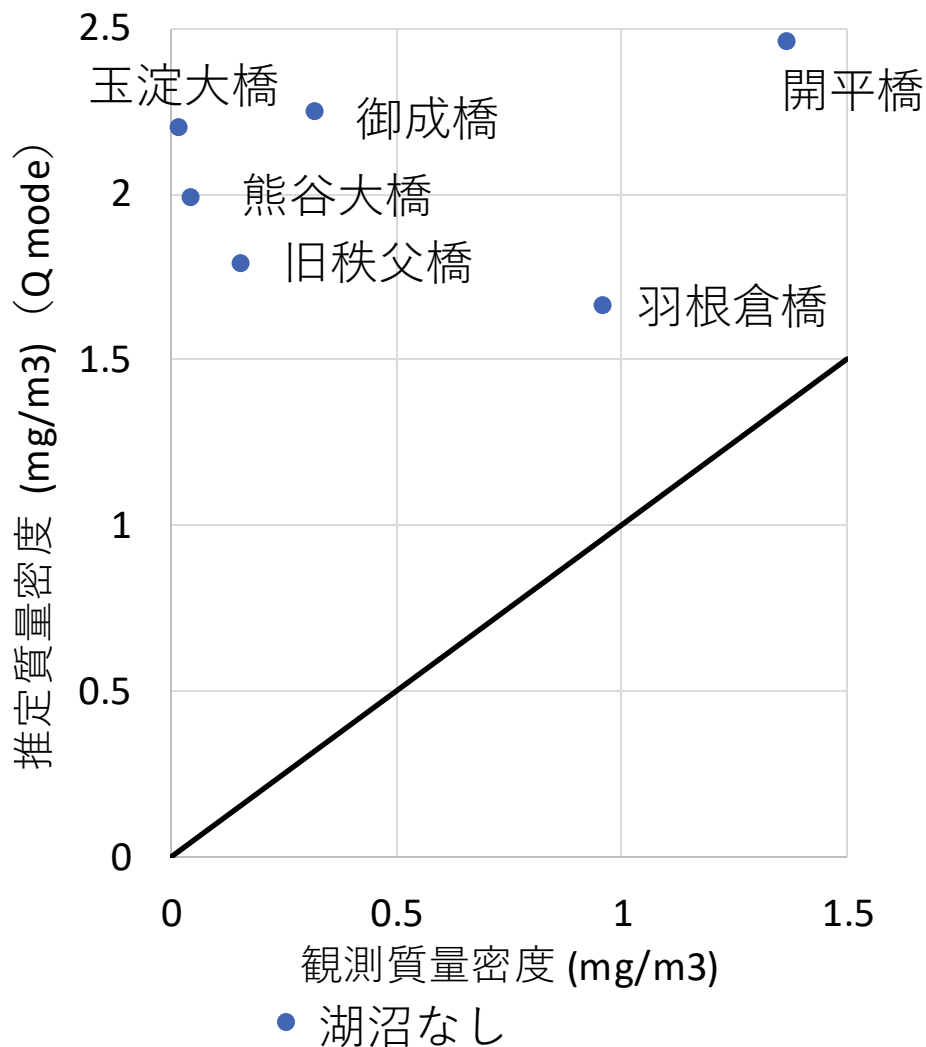


図-19 湖沼を考慮しない場合のMicP質量密度比較

6. MicP流下量の推定（荒川）

湖沼におけるMicPの堆積を考慮した推定結果

- 湖沼におけるMicPの堆積を考慮することは、河川におけるMicPの流下量を推定する上で重要

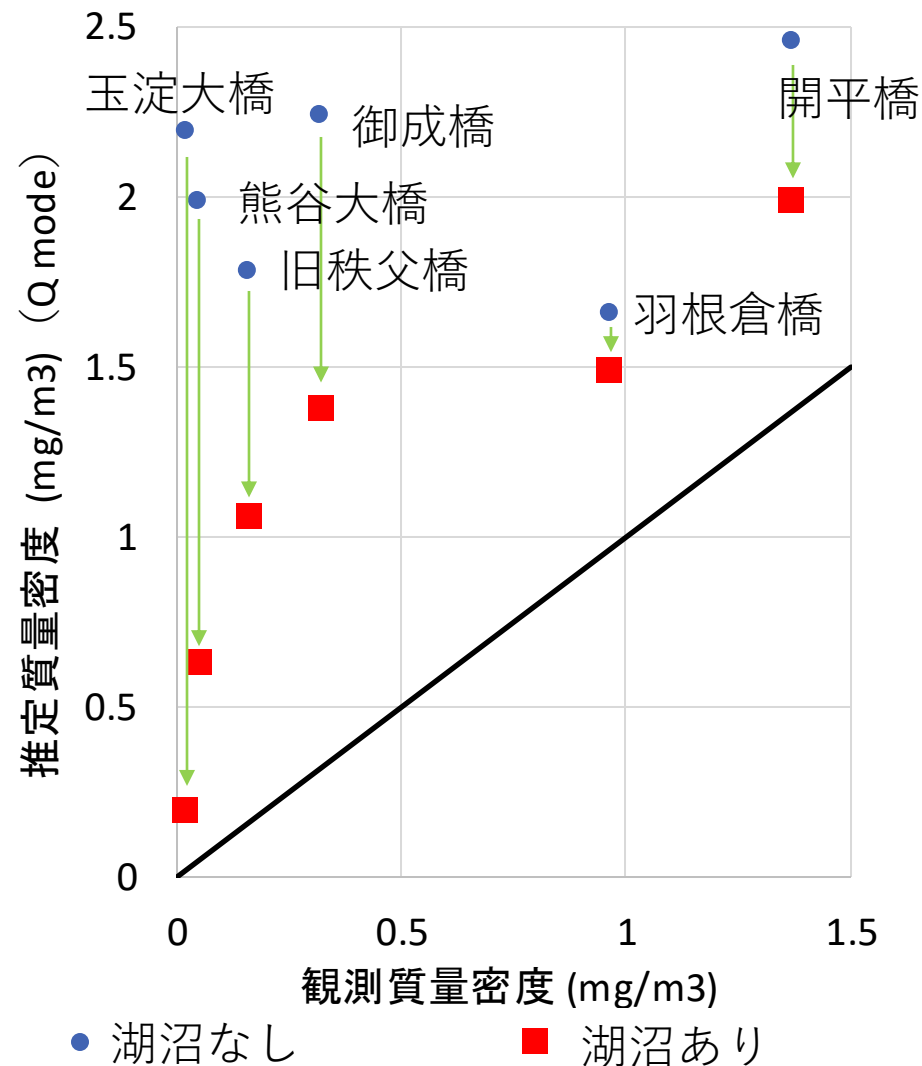
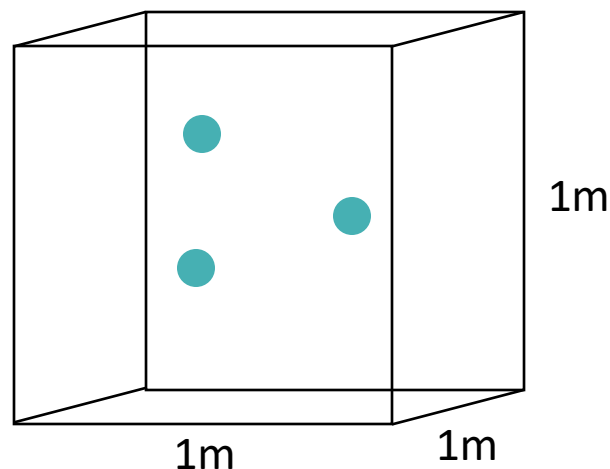
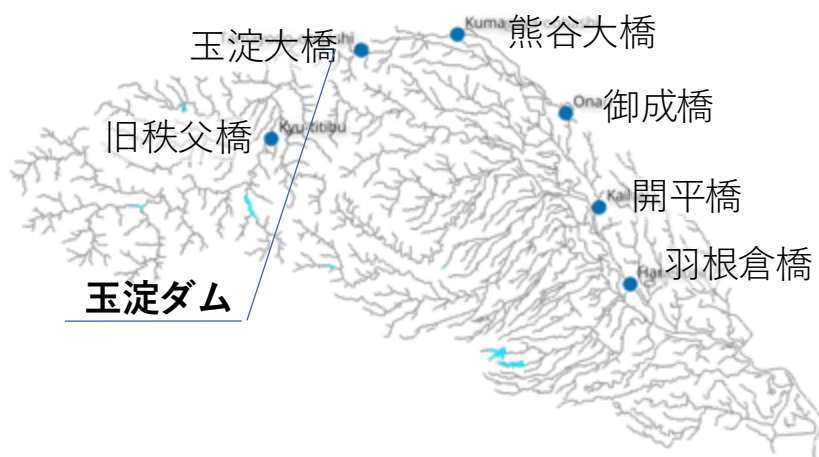


図-20 MicP質量密度比較

7. 結論



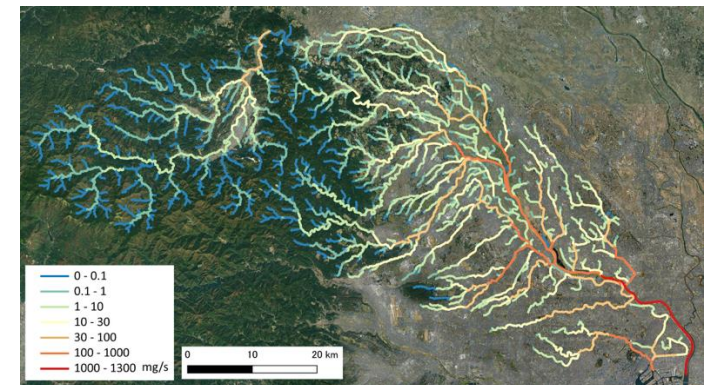
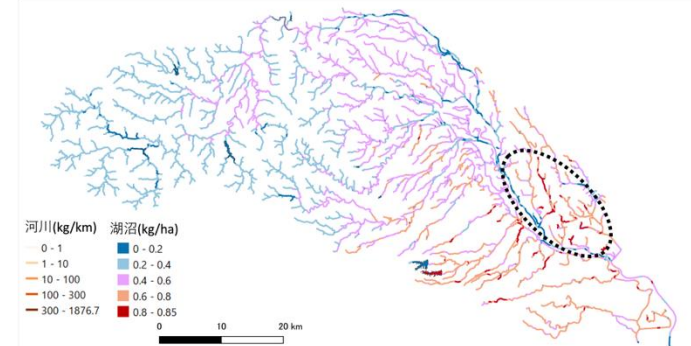
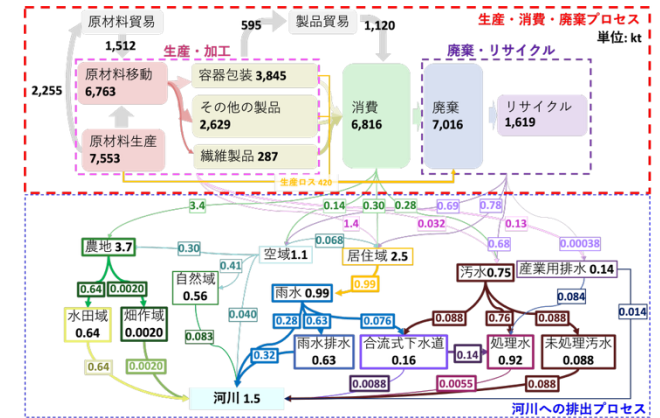
TOKYO METROPOLITAN UNIVERSITY
東京都立大学

本研究では日本に適用可能なMFの構築を行い、MF分析を用いたMicP河川流下モデルの開発を行い、荒川流域へ適用した。

- 観測値との比較で概ね良好な結果を得ることができた。
- 他流域の河川中のMicP流下量推定が可能
- プラスチック削減政策による河川中におけるMicP減少量の定量的評価が可能となる
- 本手法の精度向上のために観測データの充実が求められる



2020年7月1日より
レジ袋有料化がスタートします。



1. Nihei, Y., Yoshida, T., Kataoka, T. and Ogata, R. : High- Resolution Mapping of Japanese Microplastic and Macroplastic Emissions from the Land into the Sea, *water MDPI*, Vol. 12, Issue 4, No. 951, pp.1-26, 2020.
2. (一社)ピリカ:マイクロプラスチック流出状況 データベース , <https://corp.pirika.org/public-survey- results/>, (2024.12.1 閲覧).
3. 環境省:令和 5 年度検討結果 日本の海洋プラスチック ごみ流出量の推計, 2024.
4. Ono, K., Naito, W., Ogura I., Xue, M., Kato, E., Uesaka, M., and Tsunemi, K. : Estimation of microplastic emission and transfer into Tokyo Bay, Japan, using material flow analysis, *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 194, No. 115440, pp. 1-10, 2024.
5. 経済産業省:レジ袋削減にご協力ください!, https://www.meti.go.jp/policy/recycle/plasticbag/plasticbag_top.html, (2024.12.1 閲覧)
6. 日本マクドナルド(株):プラスチック対策, <https://www.mcdonalds.co.jp/sustainability/environment/ plastic/>, (2024.12.1 閲覧)
7. Kawecki, D., Scheeder, P. R. W., and Nowack, B. : Probabilistic Material Flow Analysis of Seven Commodity Plastics in Europe, *Environmental Science & Technology*, Vol. 52, Issue 17, pp. 9874-9888, 2018.
8. Kawecki, D. and Nowack, B. : Polymer-Specific Modeling of the Environmental Emissions of Seven Commodity Plastics As Macro- and Microplastics, *Environmental Science & Technology*, Vol. 53, Issue 16, pp. 9664-9676, 2019.
9. Kawecki, D. and Nowack, B. : A proxy-based approach to predict spatially resolved emissions of macro- and microplastic to the environment, *Science of the Total Environment*, Vol. 748, No. 141137, pp. 1-12, 2020.
10. Mennekkes, D. and Nowack, B. : Predicting microplastic masses in river networks with high spatial resolution at country level, *nature water*, Vol. 1, pp. 523-533, 2023.
11. 財務省:貿易統計, 2021.
12. 経済産業省:-2020 年- 経済産業省生産動態統計調査, 2021.
13. (一社)プラスチック循環利用協会:2020 年マテリアルフロー図, 2020.
14. Nakatani J., Maruyama T. and Moriguchi Y. : Revealing the intersectional material flow of plastic containers and packaging in Japan, *PNAS*, Vol. 117, No. 33, pp. 19844 – 19853, 2020.
15. 日本プラスチック板協会:硬質塩化ビニル波板の製品紹介・硬質塩化ビニル平板の製品紹介, https://www.p-bankyo.com/vinyl_n.html, (2024.12.1閲覧).
16. 塩ビ工業・環境協会:塩ビ樹脂の用途(塩ビ製品), https://www.vec.gr.jp/enbi/enbi1_5.html(2024.12.1 閲覧).
17. (株)日本総合研究所:環境省 令和2年度 ファッション と環境に関する調査業務, 2021.
18. 例えば, 東京都下水道局:23 区の公共下水道の普及状況, <https://www.gesui.metro.tokyo.lg.jp/living/spread>, (2024.12.1 閲覧)
19. 国土交通省:国土数値情報, (2024.12.1閲覧)
20. 国土交通省:水文水質データベース, <https://www1.river.go.jp/>, (2024.12.1 閲覧).
21. 山崎 大:日本域表面流向マップ, <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadaai/JapanDir/index.html>, (2024.12.1 閲覧).
22. 埼玉県:【ダム】玉淀ダム〔寄居町〕, <https://www.pref.saitama.lg.jp/a1001/doboku-sansaku/tamayododam.html>, (2024.12.1 閲覧).
23. IRIC : RRI model on iRIC Examples, https://i-ric.org/uc/uc_products/rri_examples/manuals/index.html, 2020.
24. 中島 健登, 天口 英雄, 今村 能之:VFX 技術を用いた河川監視カメラ画像における水理特性データの合成手法の検討, 土木学会関東支部, 2024.
25. 水野 倅之介, 天口 英雄, 今村 能之:善福寺川を対象とした都市河川空間モデル用水位・流速分布データの作成, 土木学会関東支部, 2025.