



2024/3/9
 令和5年度海洋プラスチックごみ
 学術シンポジウム
 @オンライン開催

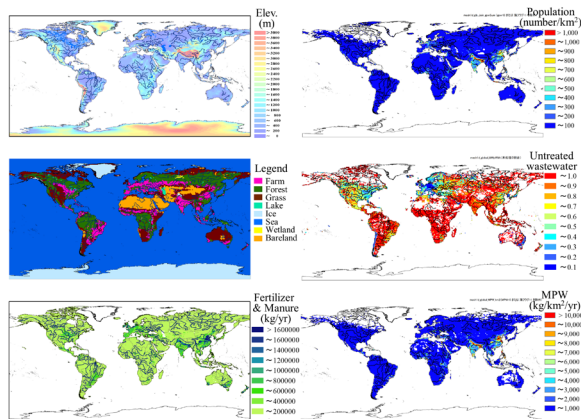


NO PHOTOS

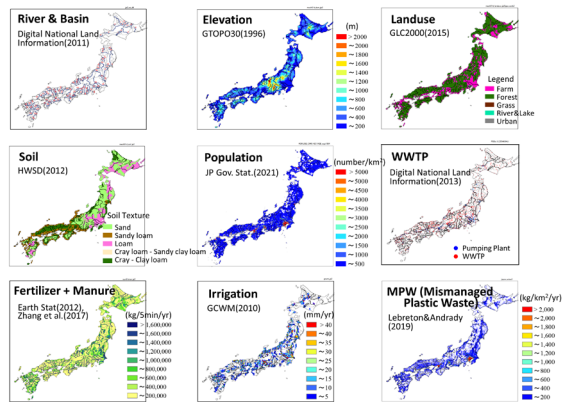
新たな統合型流域環境管理モデルNICEの開発を通じた日本全域及びグローバル主要河川流域におけるプラスチック流出動態の評価

国立環境研究所 中山忠暢 (nakat@nies.go.jp)

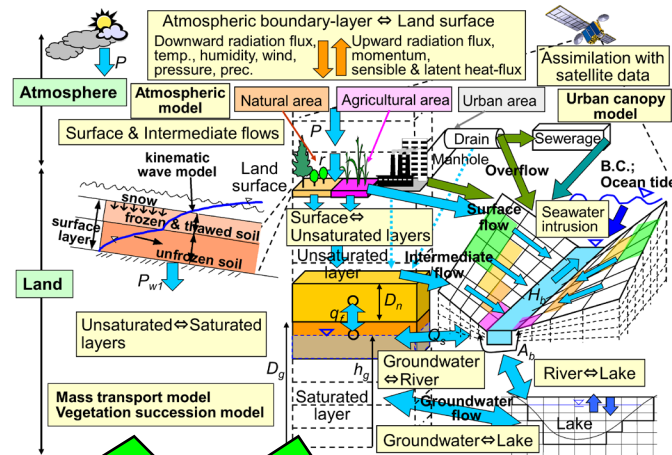
全球データセット



日本全域データセット



プロセス型NICEモデル



メカニズムの解明

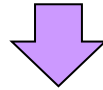
メカニズムの解明

解決策及び
対策の提示

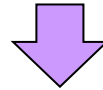


本日の話題提供の内容
～新たなプラスチック環境流出モデルの開発及び
地域及び全球スケールへの適用による影響評価～

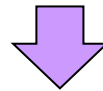
- これまでに行ってきた流域モデルの開発、地域から全球スケールまでの様々な流域圏への適用、水・物質循環及び生態系影響評価の概要のご紹介



- 現存するプラスチック循環モデルはどのようなものがあるか？
- 既存の流域モデルからプラスチック環境流出モデルへ拡張する際の問題点や課題は？



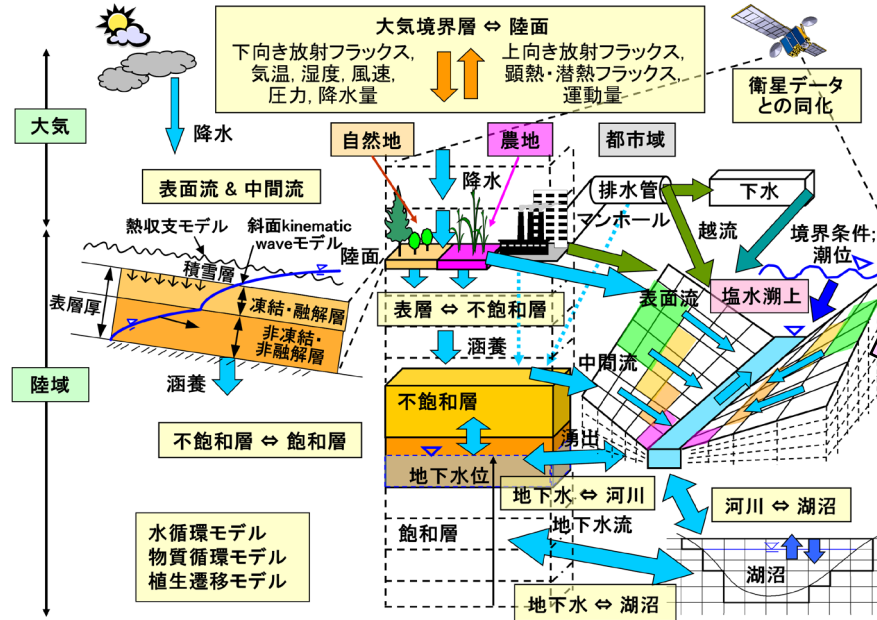
- 現地観測や室内・室外実験、航空写真や(衛星)画像解析、統計解析などにモデルがどのように有効活用できるか？
- 地域及び全球スケールでのプラスチック循環の影響評価の際の相違点は？
- 水・熱・土砂・栄養塩・炭素循環との接点は？



- 大気・海域・雪氷・土壌などでのプラスチック研究との接点は？
- 流域スケールでの実際のプラスチック問題の解決のためにどんなアプローチが必要なのか？
- 気候変動への対策や地域循環共生圏でのコベネフィットのためには？



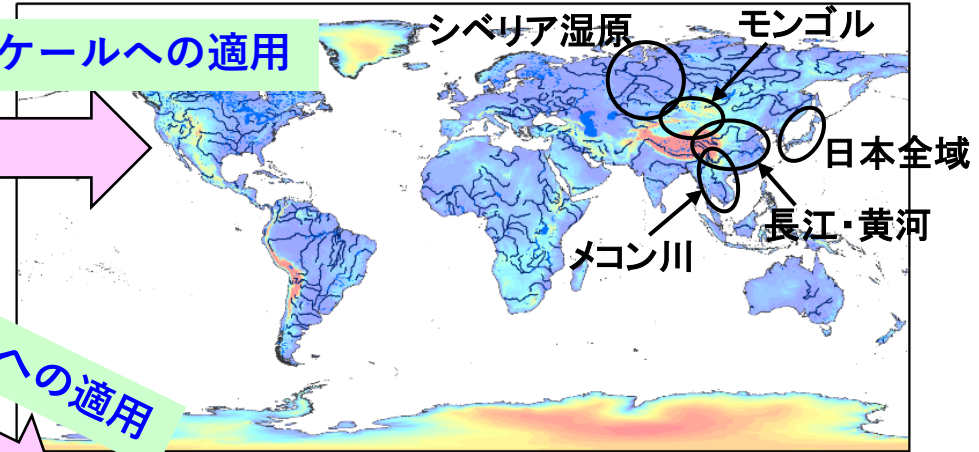
統合型流域環境管理モデル(NICE)



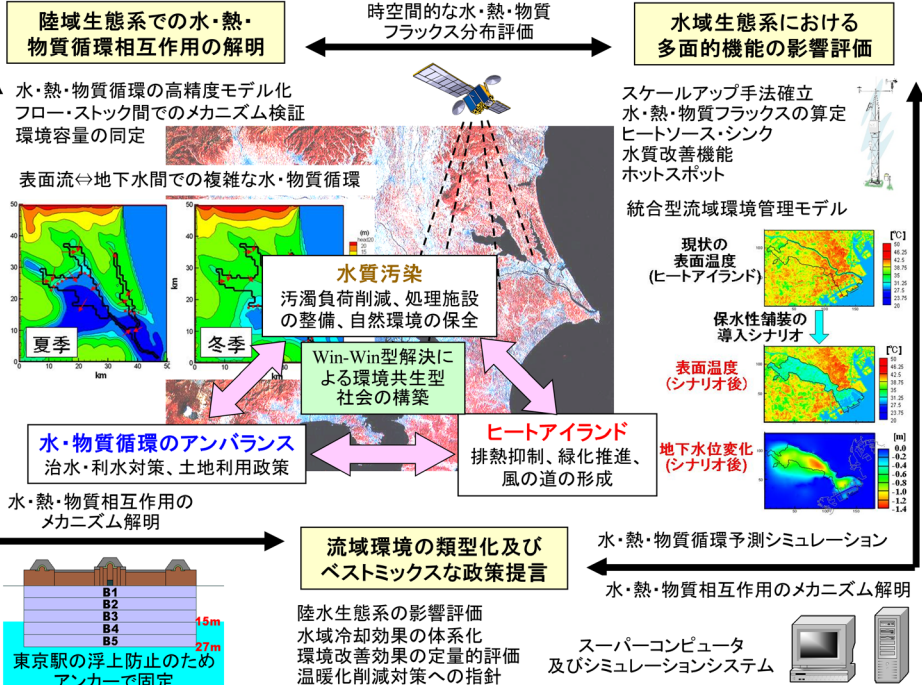
グローバルスケールでの生態系評価

大陸・全球スケールへの適用

地域スケールへの適用



健全な水・熱・物質循環に向けた評価システム



様々な流域での水・物質循環及び生態系影響評価
～水・熱・土砂・栄養塩・炭素循環からプラスチック循環まで～

<地域スケールでの様々な流域圏>

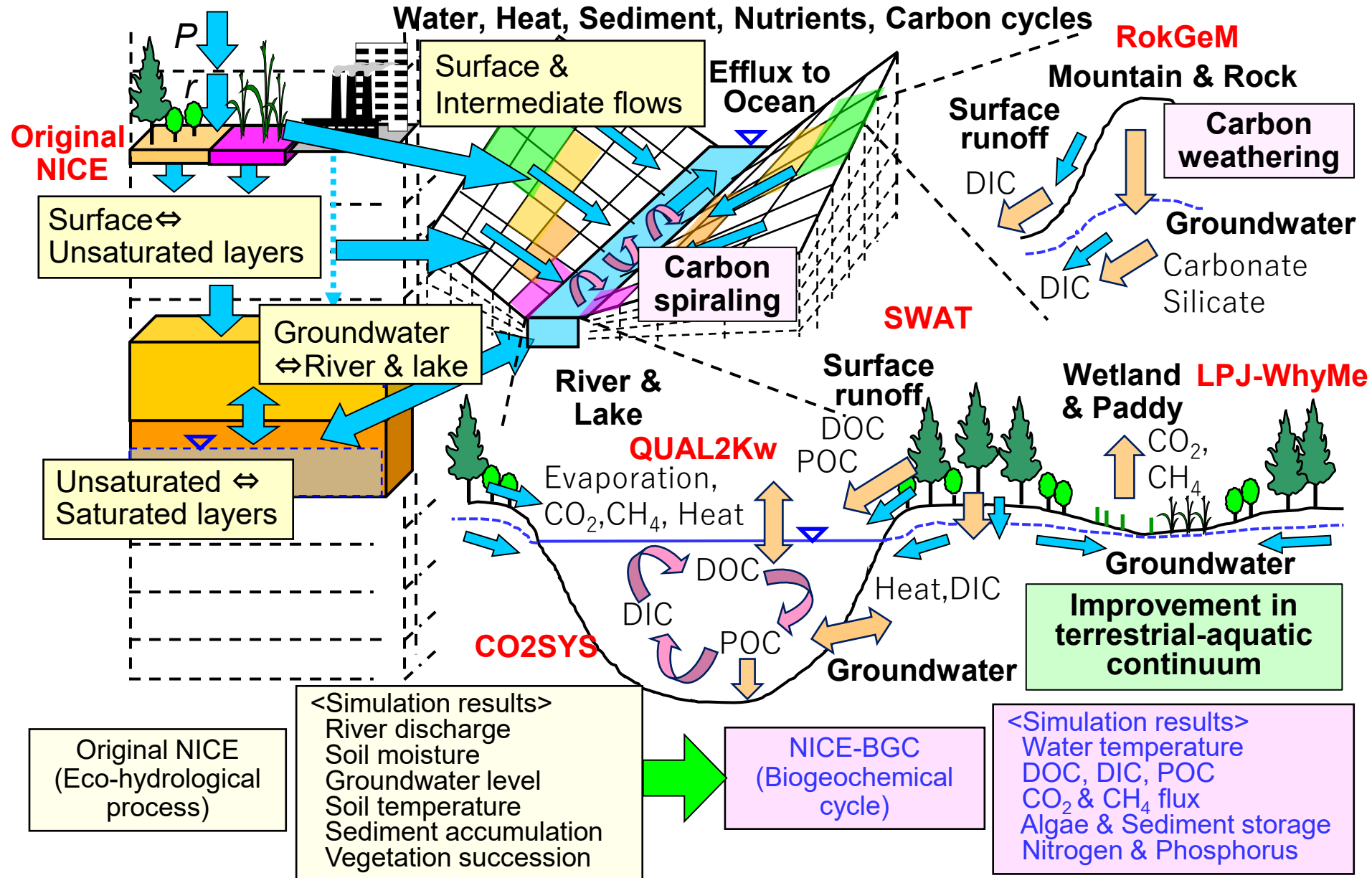
- 釧路湿原
 - 利根川流域を含む首都圏
 - 霞ヶ浦流域
 - 全国一級河川流域(109水系)
- <大陸・全球スケールでの様々な流域圏>
- 長江・黄河流域を含む中国全域
 - メコン川流域
 - シベリア湿原(オビ川及びエニセイ川流域)
 - モンゴル全域
 - グローバル主要河川流域(325流域)





Coupling between eco-hydrological process and carbon cycle (NICE-BGC)

～新たな水文生態系－生物地球化学結合モデルの開発～



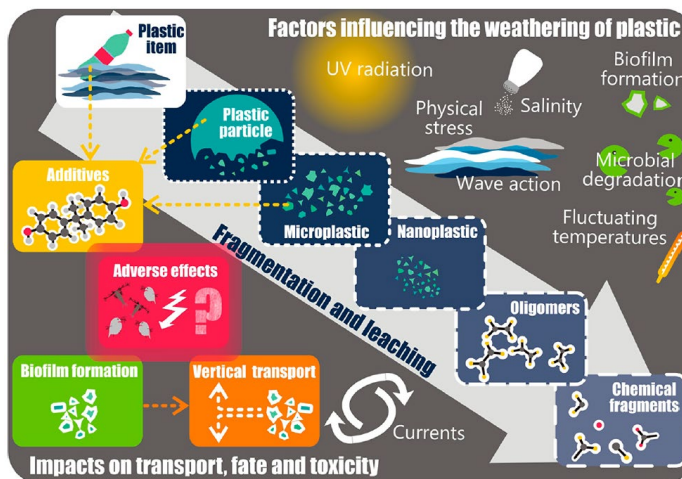
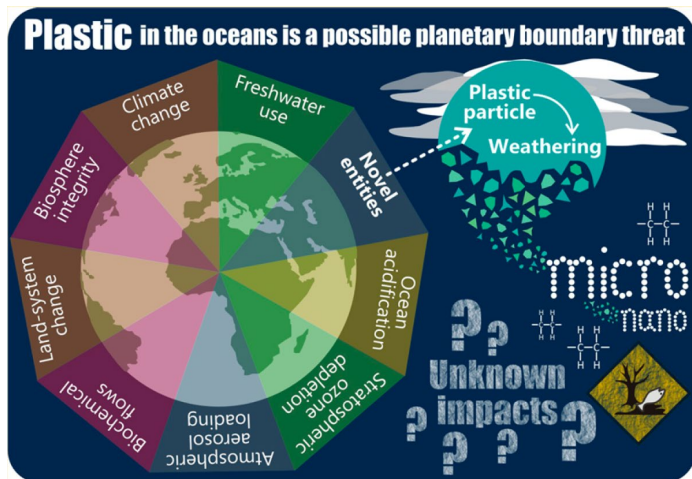


NICE及びNICE-BGCの新たな展開 ～プラスチックの環境流出モデルの構築に向けて～

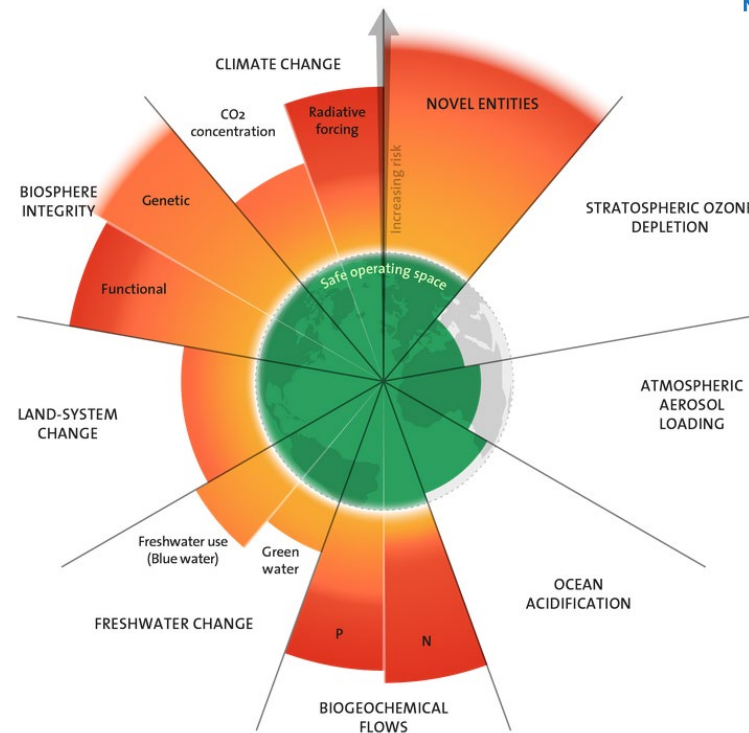
「Plastisphere(プラスチック圏)」(Zettler et al. 2013) とは？



- 近年の海洋プラスチックごみ問題として深刻な影響
- プラスチックに関わる独自の生態系
- biosphere, atmosphere, pedosphere, hydrosphereなどとは別
- anthroposphereにも関連



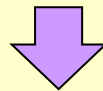
Jahnke et al, 2017



Planetary boundaries (Stockholm Resilience Centre)

＜新たなプラスチック環境動態モデルの構築＞

- プラスチックの陸域から水域への移行と水圏での移動・海洋流出に関する物理化学モデル
- プラスチックの自然界での劣化・細片(マイクロプラスチック)化の反応モデル
- マテリアルフロー解析による上流側からの環境流出とのカップリング



「S-19 プラスチックの持続可能な資源循環と海洋流出制御に向けたシステム構築に関する総合的研究(FY2021-2025)」

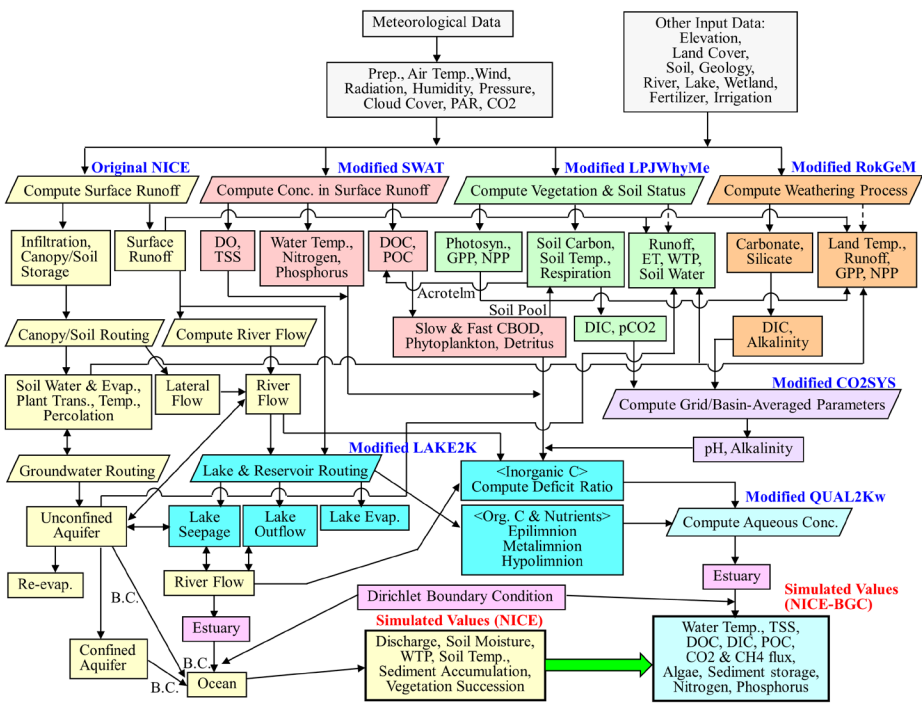
3RプラスRenewable政策や海洋プラスチックごみの排出抑制への政策貢献



プラ動態モデルと結合した新たな水文生態系モデルの開発

Application to global major rivers, reservoirs, lakes & estuaries

National Integrated Catchment-based Eco-hydrology (NICE) model



NICE can simulate water/heat budget, sediment, nutrient, & carbon cycles, & vegetation succession, iteratively

Extension to model fate & transport of plastics

Nakayama, *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 2017
 Nakayama & Pelletier, *Ecol. Model.*, 2018
 Nakayama, *Ecohydrology*, 2023

2-D diffusion model for hillslope runoff

$$\frac{\partial}{\partial t} \{D \cdot C\} + \frac{\partial(M \cdot C)}{\partial x} + \frac{\partial(N \cdot C)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ Kx \cdot D \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ Ky \cdot D \cdot \frac{\partial C}{\partial y} \right\} + D \cdot L(C) + q_{su} - w_f \cdot c_b$$

L(C) : plastic concentration of point & non-point sources

Mass budget in water & bed sediment

$$\frac{dM_{sed}}{dt} = m_{dep} - m_{res}$$

$$V \frac{dC_w}{dt} = QC_w^{up} - QC_w + m_{eff} + \sum_u Am_{out} + LW(m_{res} - m_{dep})$$

Calculation of plastic concentrations both in water & bed sediment (Nizzetto et al., 2016)

Settling velocity (Stokes' formula)

$$w_f = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{d_{equi}}{c_D} \left| \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right| g}$$

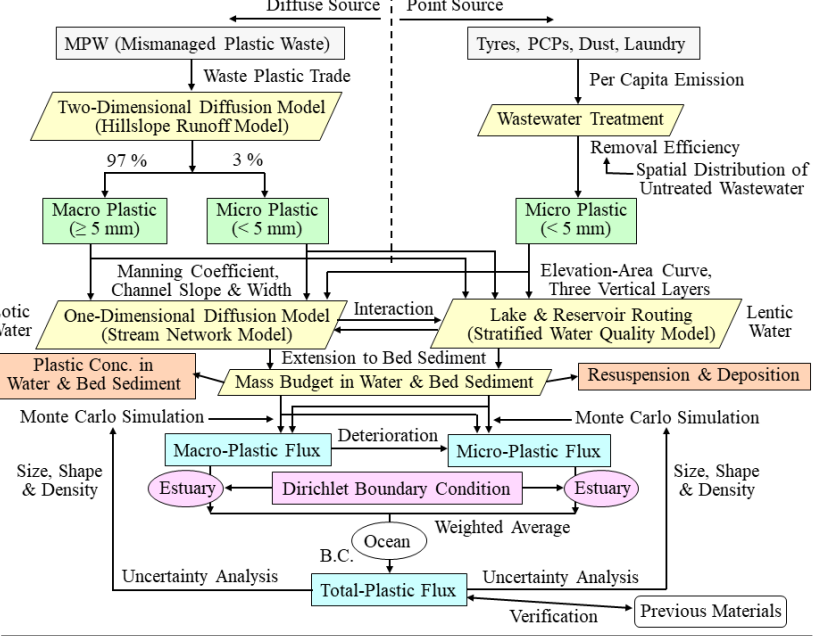
Dependent to size, shape & density

1-D diffusion model for river channel

$$\frac{\partial}{\partial t} (A \cdot C) + \frac{\partial(A \cdot U \cdot C)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ A \cdot Kx \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right\} + AL(C)$$

Calculation of macro- & micro-plastics

Extension to macro- & micro-plastics transport in inland water & estuary



- **Point source;** Per capita emission of micro-plastics into rivers (PCPs, dusts, laundries, tyres) & removal efficiency in WWTP (Siegfried et al., 2017)
- **Diffuse source;** Outflow of macro-plastics originated from MPW (Lebreton & Andrady, 2019)
- **Downstream boundary condition;** Macro- and micro-plastics in the ocean surface water (from 0-5 meters) (Kaandorp et al., 2023)

Nakayama & Osako, *Ecol. Model.*, 2023
 Nakayama & Osako, *Global Planet. Change*, 2023



新たなプラスチックモデル開発を通じた 日本全域及びグローバル主要河川流域におけるプラスチック動態の解明

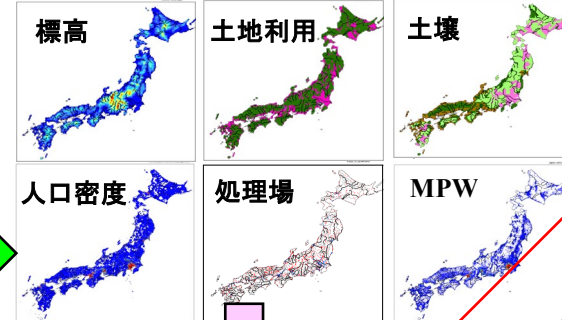
■ 研究概要

- ▶ 統合型流域環境管理モデルNICE(National Integrated Catchment-based Eco-hydrology)の新たな展開
 - 全国一級河川流域(109水系)から海域へのプラ流出量(マクロ・マイクロプラ)の評価(R3)
 - パラメータ(プラサイズ・比重・形状)感度解析, 全球主要河川(325流域)からのプラ流出量の評価(R4)
 - 日本を含むアジア域を対象に, 廃プラトレードがプラの環境排出へ及ぼす影響評価(R5)

■ 研究手法

- ▶ NICEの拡張によるプラの環境流出モデル構築
 - プラの陸域からの排出及び水域流出の統合化
 - 面源負荷(プラの不適切管理)及び点源負荷(パーソナルケア, ダスト, 繊維, タイヤ摩耗)の考慮
 - 水温や紫外線による劣化, 物理的細片化, 沈殿, 巻き上げの効果をモデルに実装
 - マクロ・マイクロプラの同時シミュレーション

NICE入力用のデータセット整備

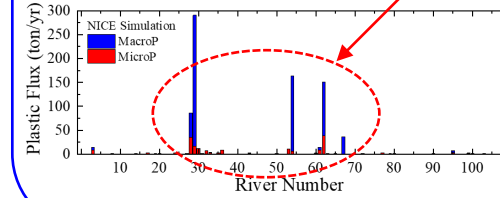


(R3成果)

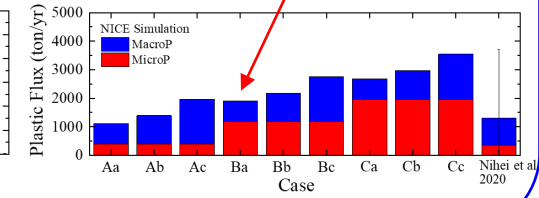
荒川・利根川・木曾川・淀川などから大量のプラが流出

流出量の算定は処理場での除去率やプラの比重などのパラメータに大きく依存

各河川ごとのプラ流出量(Case-Ab)

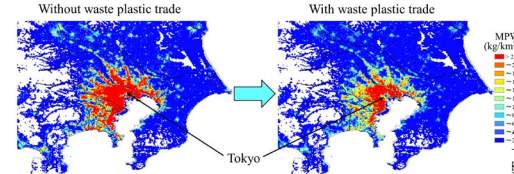


海域流出するプラ総量の感度解析



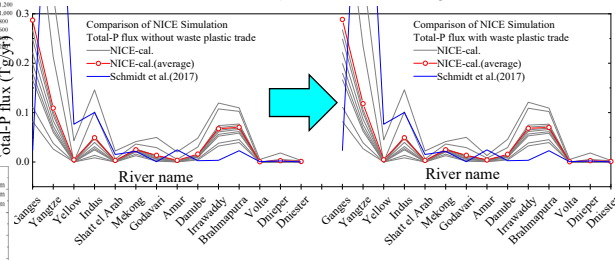
Nakayama & Osako, Ecological Modelling, 2023

廃プラトレードがMPWに及ぼす影響

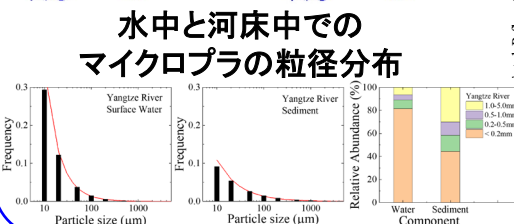


(R5成果)

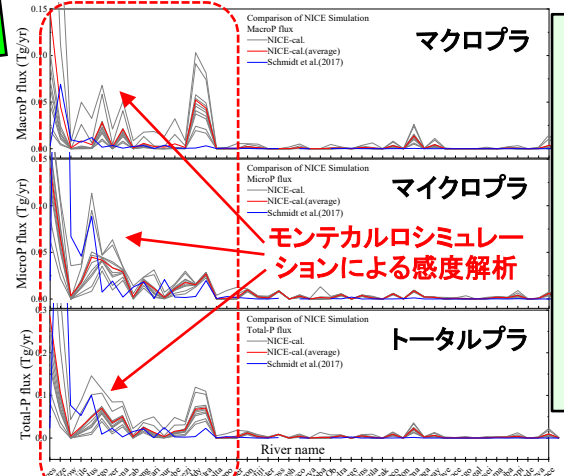
廃プラトレードに伴うアジア主要河川からのプラ流出量の影響評価



Nakayama & Osako, Ecological Modelling, 2024



グローバル主要河川からのプラ流出量の感度解析 (R4成果)



- マクロ・マイクロプラはサイズ・比重・形状の確率分布に従うと仮定
- トップ20河川流域(大半はアジア)から大量のプラが排出
- 日本同様に, グローバルでもプラ動態の不確実性評価や高度化が必要

Nakayama & Osako, Global and Planetary Change, 2023





本日の発表のまとめ ～NICEを用いた地域及び全球スケールでのプラスチック動態評価～

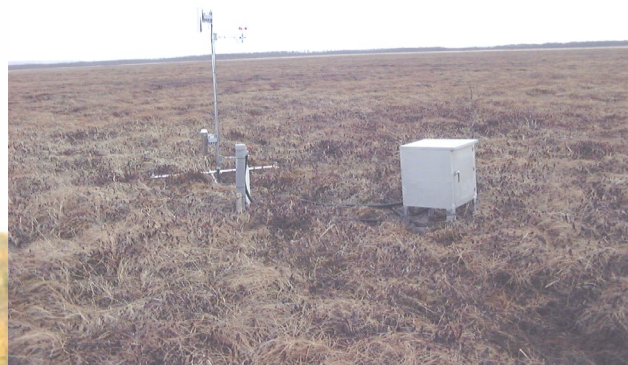
- 既存の流域モデルの拡張による、新たなプラスチック環境流出モデルの開発(プラの陸域からの排出及び水域流出の統合化)
- 面源負荷及び点源負荷を考慮したモデルによるプラスチック流出動態の評価
- 陸水や河口は陸域－海域間でのプラスチック循環の単なるバイパスではなくて、陸域－大気・海域間での循環に局所的に大きな影響を及ぼす(劣化・細片化・沈殿・巻き上げなどもあり)
- 日本の一級河川流域(109水系)及び全球主要河川(325流域)からのプラ流出量の評価
- プラスチック排出量は、処理場での処理率やプラの比重・大きさ・形状などに大きく依存
- 洪水などの出水によって水中及び河床でのプラスチックの平衡状態が崩れ、集中的に流出
- アジア地域では人為活動(土地利用変化、ダム建設、施肥や灌漑など)は顕著で、プラスチック排出においてもホットスポットのような感じ
- 凝集や生物付着などの、微細粒子や炭素循環との相互作用も内包したモデル改良が必要
- モデル精度向上のためには、上流側での静脈プロセスを考慮したマテリアルフロー解析やモデル検証用のさらなる観測データが必要
- 本研究で開発したモデルは、今後さらなる精緻化やインプットとなるインベントリーデータ整備によって、海洋流出量や対策効果の評価に活用可能



鴨緑江にて(対岸が北朝鮮)



釧路湿原での気象観測



モンゴル・ゴビ砂漠での水循環の観測



ご静聴ありがとうございます

[Mail to: T. Nakayama \(中山忠暢\) \(nakat@nies.go.jp\)](mailto:nakat@nies.go.jp)

ドナウデルタでの調査



中国・華北平原での地下水観測

厳冬のシベリアでの調査



メコン・トンレサップ湖の観測システム

