

2024年12月21日 10:00 - 12:00

pal*system

パルシステム東京

～プラスチックゴミ問題～

大気のマイクロプラスチック
汚染が進んでいる

大河内 博

早稲田大学創造理工学部
環境資源工学科



Part I マイクロプラスチック問題の基本

1. プラスチックの現状
2. マイクロプラスチックとは？
3. 大気中マイクロプラスチック
発生源, 環境・健康リスク, 濃度, 沈着量

Part II AMΦ (アンファイ) プロジェクト

1. AMΦプロジェクトのご紹介
2. マイクロプラスチック大気汚染の実態：地球規模
3. 呼吸器系影響

Part III プラスチックゴミをどうするか？

1. 4R
2. プラスチックゴミの分解
3. 早成桐によるグリーントランスフォーメーション

数字で知るプラゴミ

- ✓ 1950年代以降の**プラスチック総廃棄量**は？
49億トン (生産量の59%)
出典：Geyer et al. (2017)
- ✓ **海洋プラ総重量**が魚の重量を越えるのはいつ？
2050年
出典：環境省「Plastic Smart」
- ✓ 世界：**海洋へ流出する年間プラごみ量**は？
480 - 1270 万トン(2010年)
東京スカイツリー約240個分
出典：Jambeck et al. (2015)
- ✓ 日本：**海洋へ流出する年間プラごみ量**は？
2 - 6 万トン (2010年)
出典：Jambeck et al. (2015)
- ✓ 日本：**海岸のプラごみ**で一番多いのは？
ボトルキャップ&ロープ
出典：磯辺篤彦 (2020)

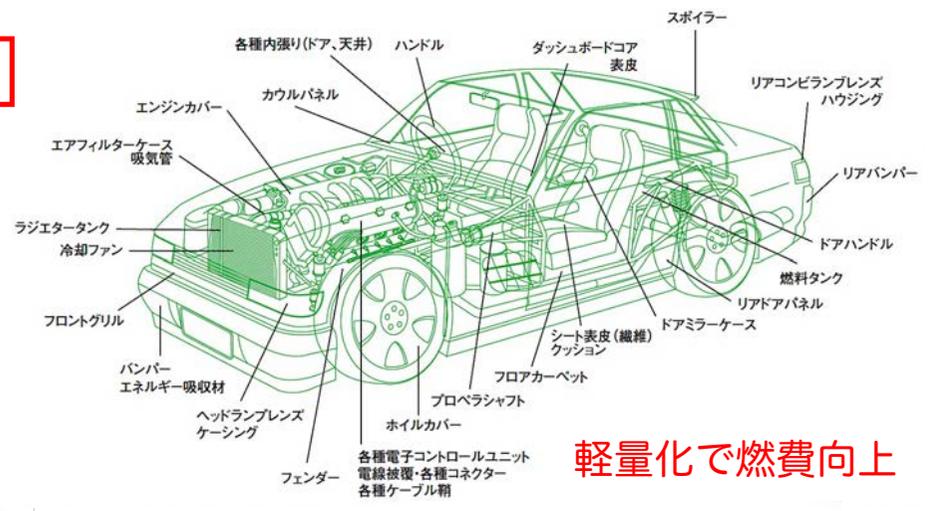
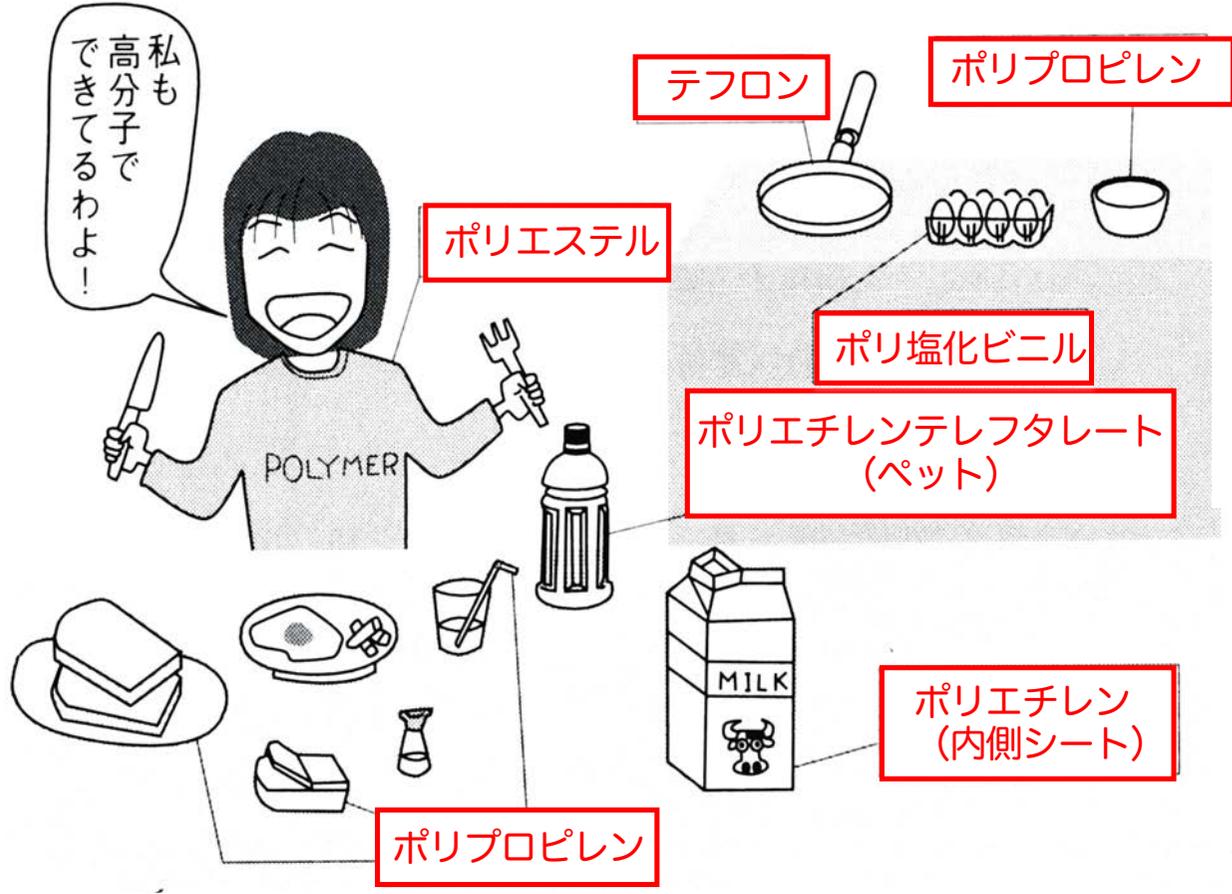
1. プラスチックの現状

日常生活にあふれるプラスチック

プラスチックは悪者か？ ➡ 悪いのは大量生産・大量消費 ➡ 適正使用へ

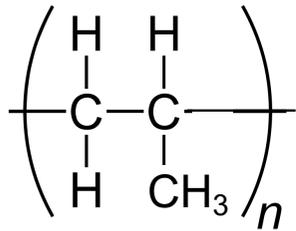
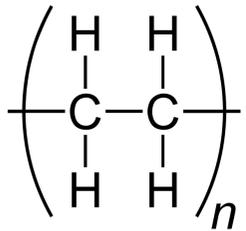
耐久性, 機密性, 絶縁性, 断熱性, 透明性, 易成形性

環境に漏れ出た実態把握必要!

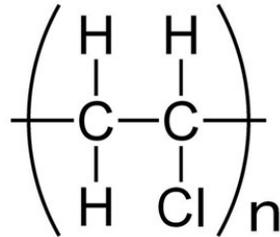


よく使われるプラスチックと性質

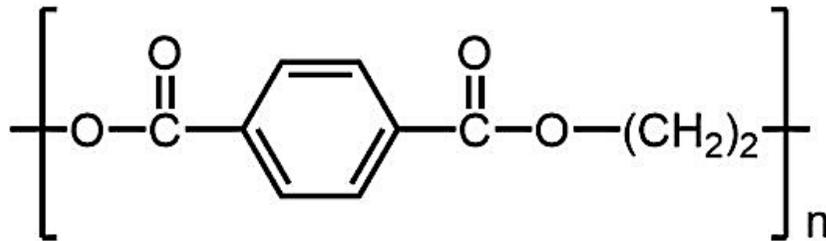
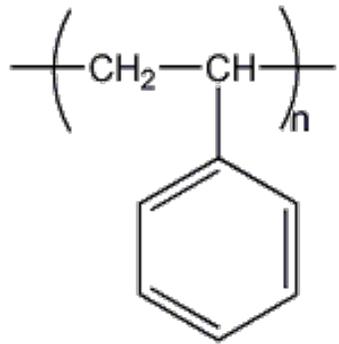
ペットボトルキャップなど



塩ビ管, ビニールハウス,
電源コード, 道路標識



ポリエチレン (PE) ポリプロピレン (PP) ポリ塩化ビニル (PVC)

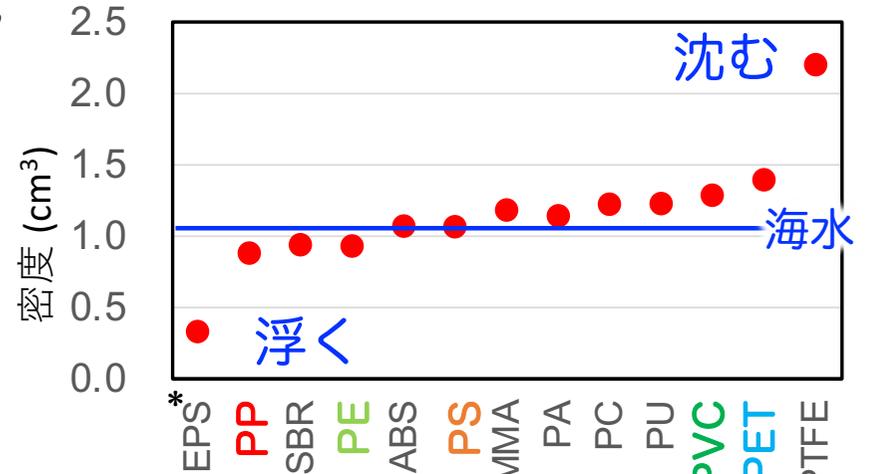


ポリスチレン (PS)

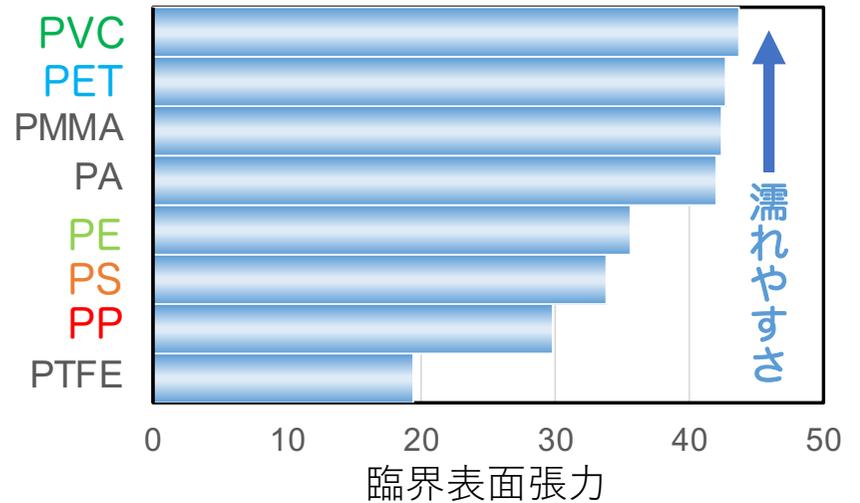
ポリエチレンテレフタレート (PET)

ペットボトルラベルなど

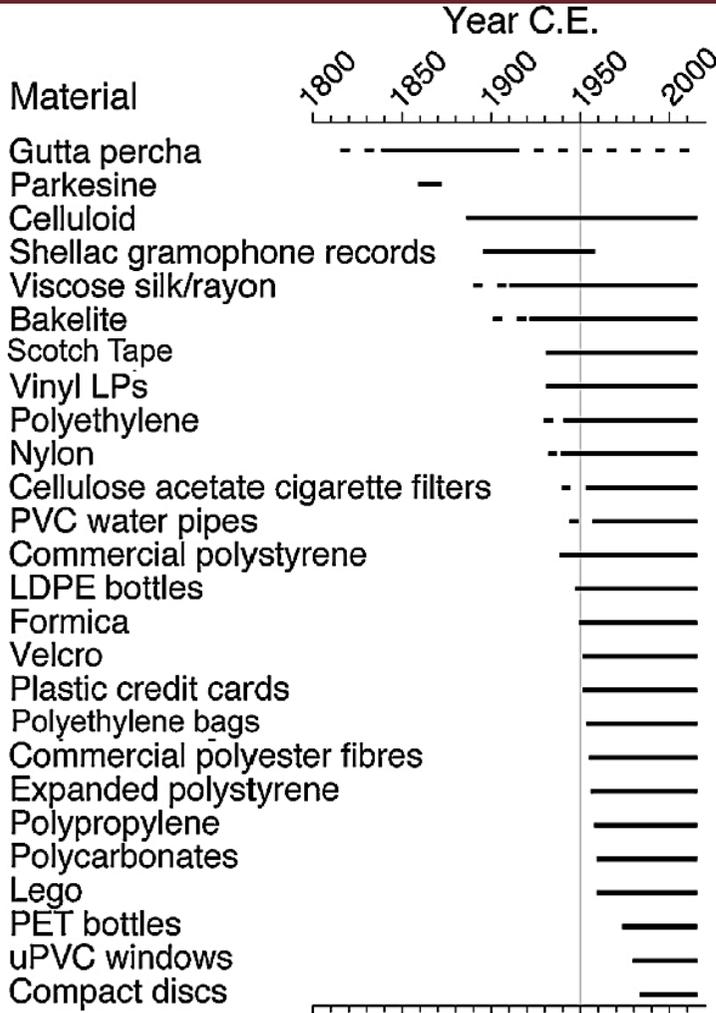
ペットボトル本体やフリース



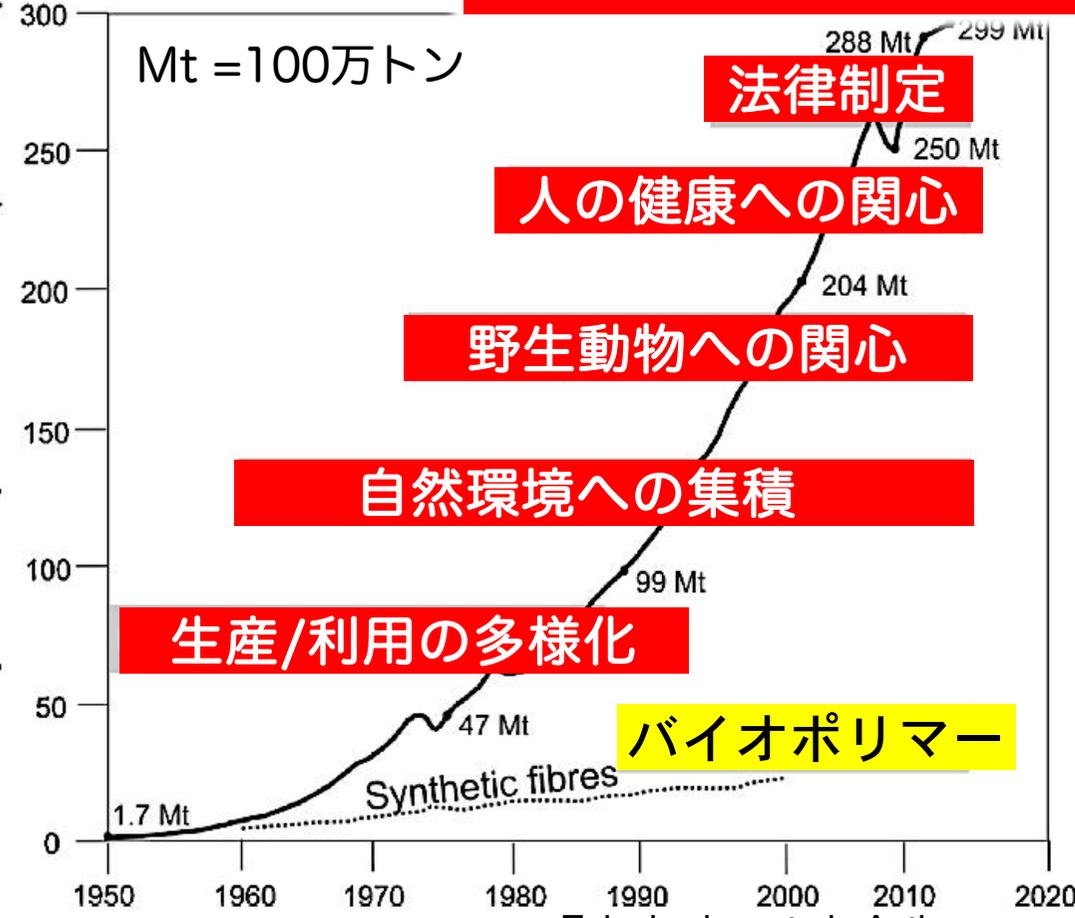
*expanded polystyrene : 発泡スチロール



プラスチックの歴史と生産量



World plastic production (Mtonne)



プラスチック生産量
 1950年：200万トン/年
 2015年：4億トン/年
 1950 - 2015年 累積生産量：83億トン
 - 2050年 累積生産量：400億トン

法律制定

人の健康への関心

野生動物への関心

自然環境への集積

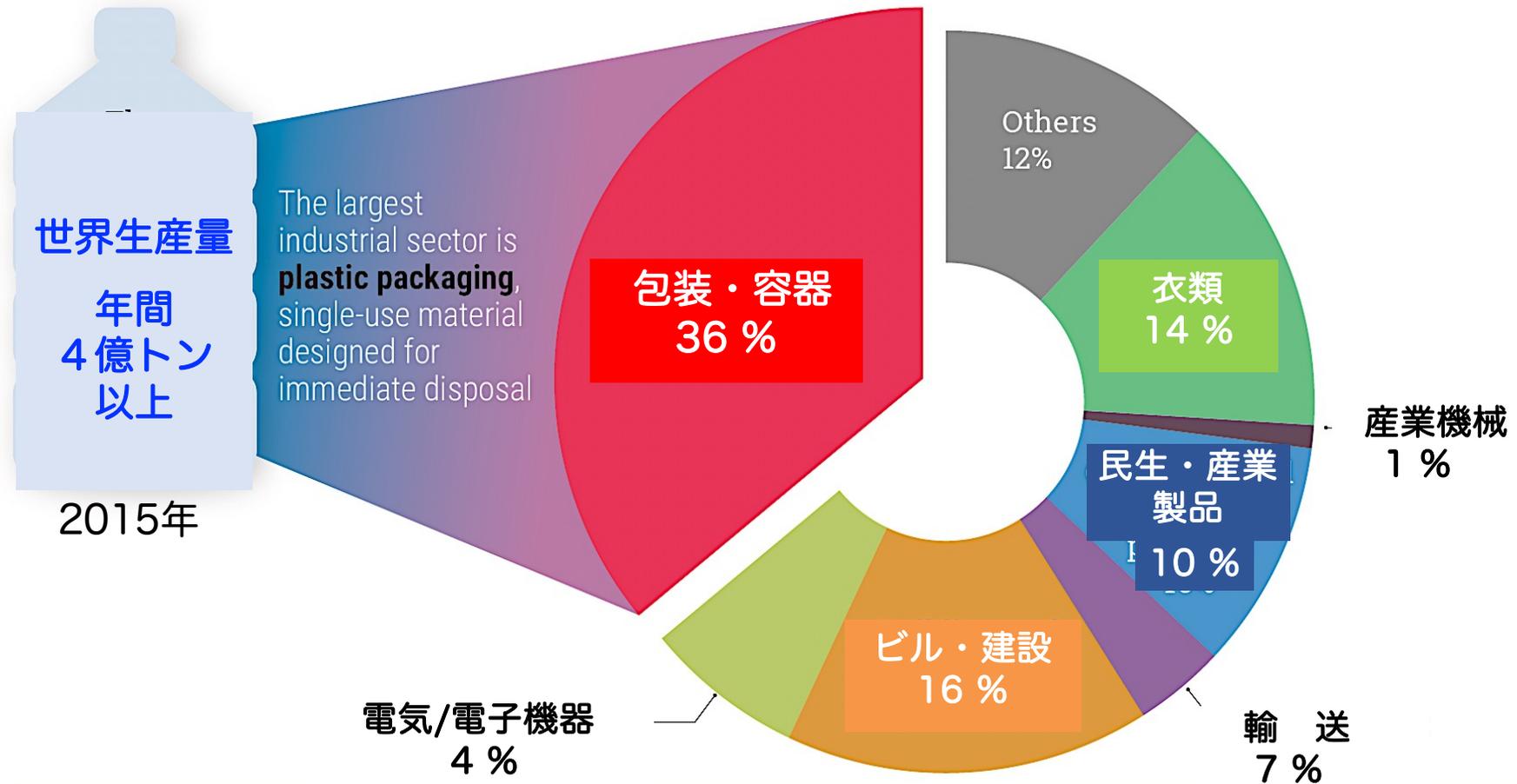
生産/利用の多様化

バイオポリマー

1950年代から種類・量とも急増

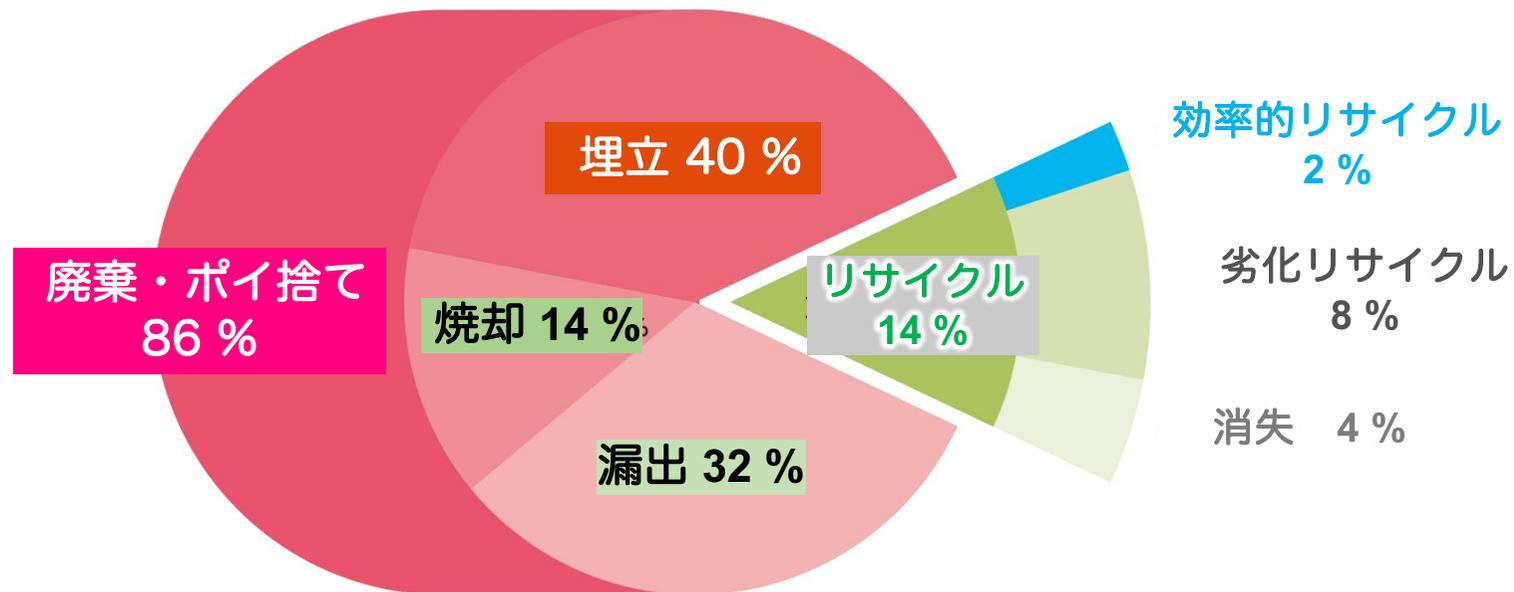
世界：プラスチック生産量

使い捨てのプラスチック包装・容器がもっと多い



世界：プラごみのゆくえ

プラスチック包装・容器廃棄量 (2015年)：1.4億トン



➤ ペットボトルのリサイクル率

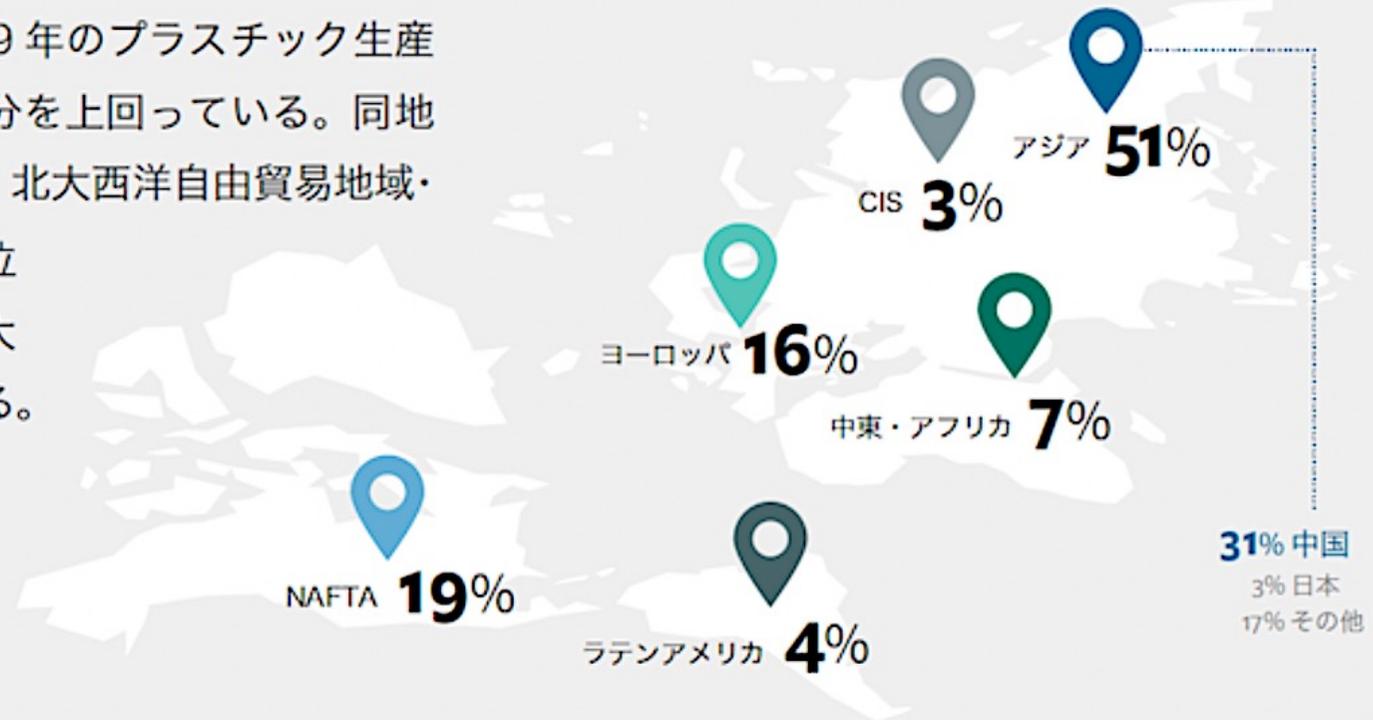
米国：18.0 % (2020), 欧州：39.6 % (2019)

日本：88.5 % (2020)

プラスチック生産地域

世界の主要プラスチック生産地域（2019年）

アジアにおける2019年のプラスチック生産量は、世界全体の半分以上を上回っている。同地域に次いで多いのは、北大西洋自由貿易地域・ヨーロッパだ。国単位では、中国が世界最大の生産国となっている。

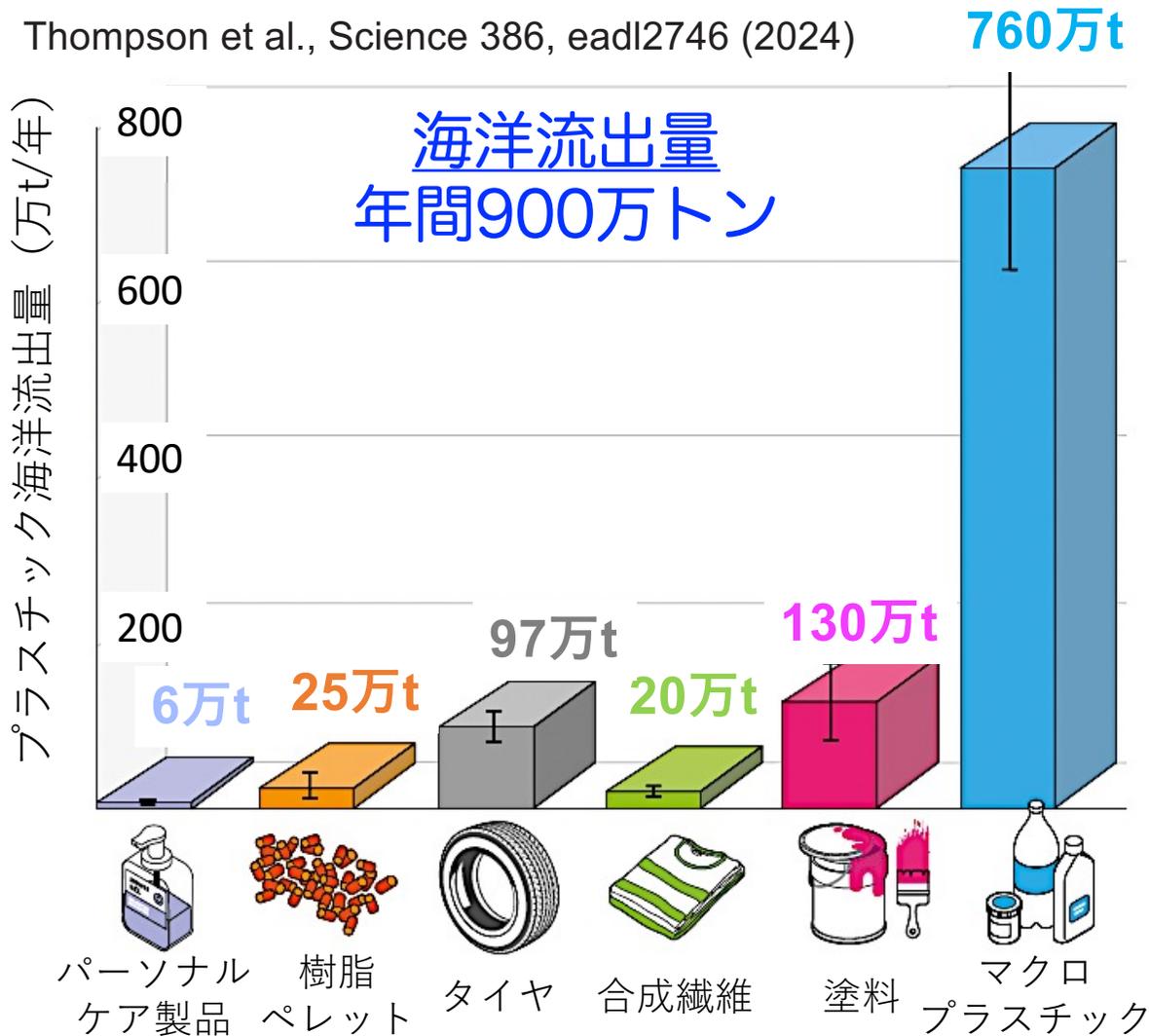


資料 : Plastics – the Facts 2020, PlasticsEurope (2020)

https://www.sustainablebrands.jp/news/jp/detail/1205099_1501.html

プラスチックの環境への流出量

Thompson et al., Science 386, ead12746 (2024)



海洋流出量
年間900万トン

陸域流出量
年間1,000~4,000万トン

環境への流出量

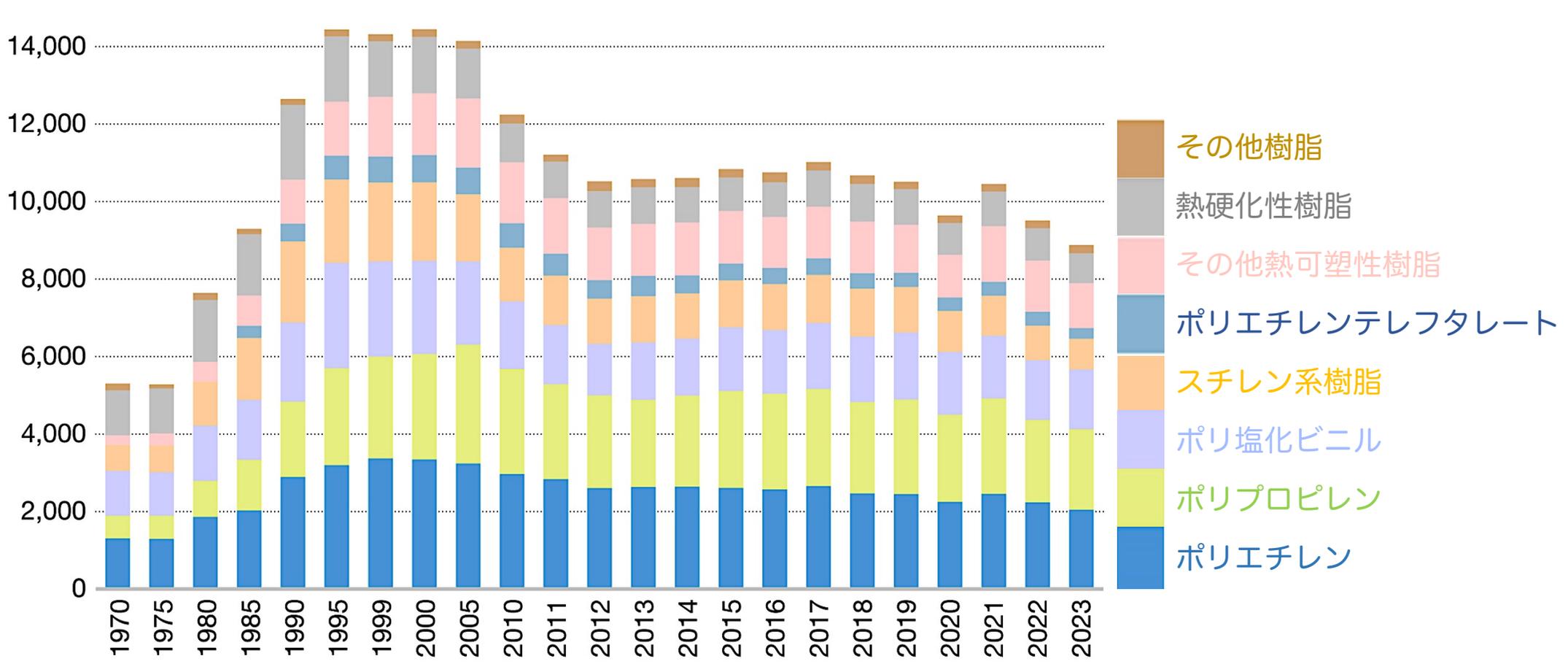
≫ 環境での存在量 (モデル)

どこに消えた？

“Missing Plastics”
「消えたプラスチック」

日本：プラスチックの生産量と内訳

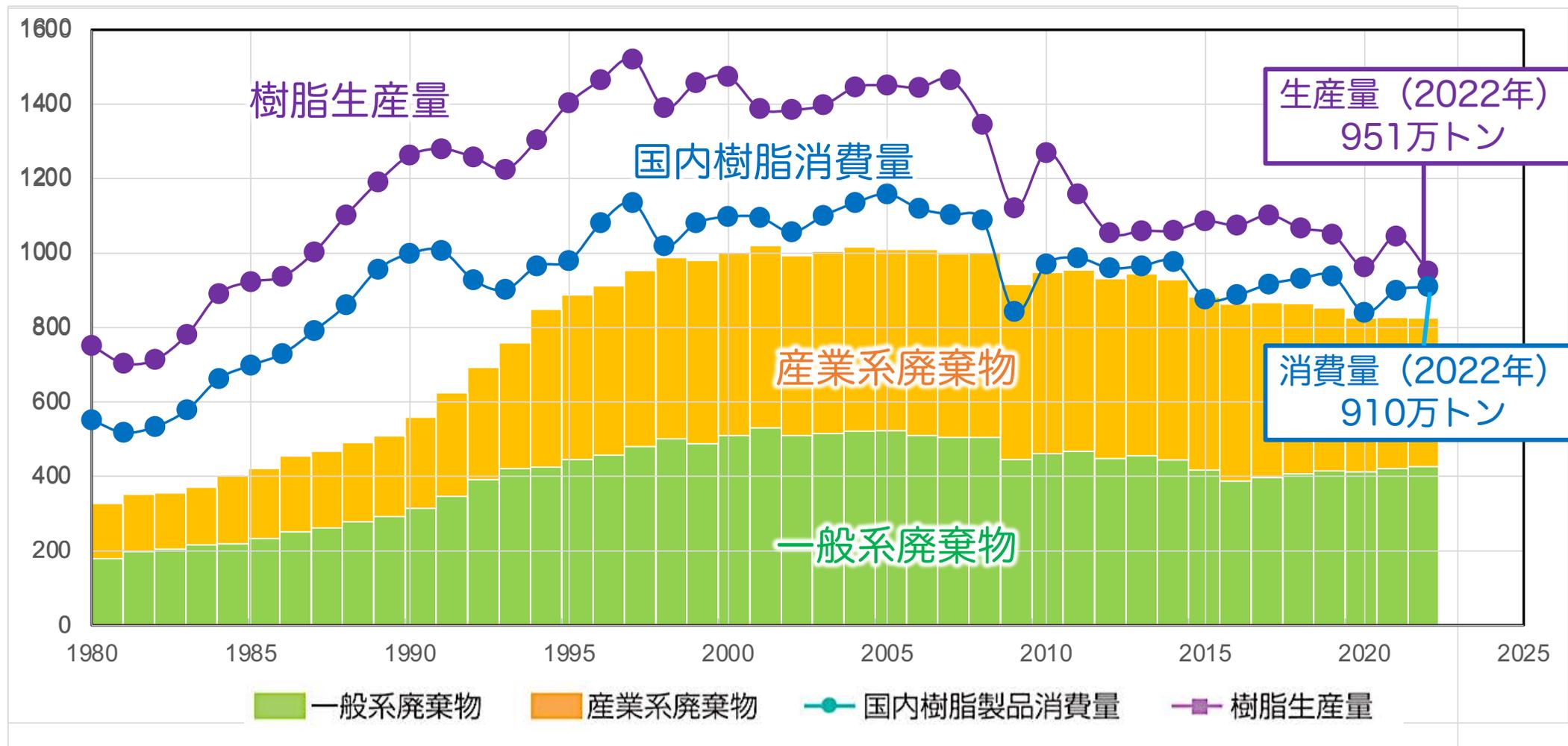
千トン ➤ プラスチック生産量：2012年以降，1000万トン前後で推移



出典：日本プラスチック工業連盟、経済産業省 生産動態統計

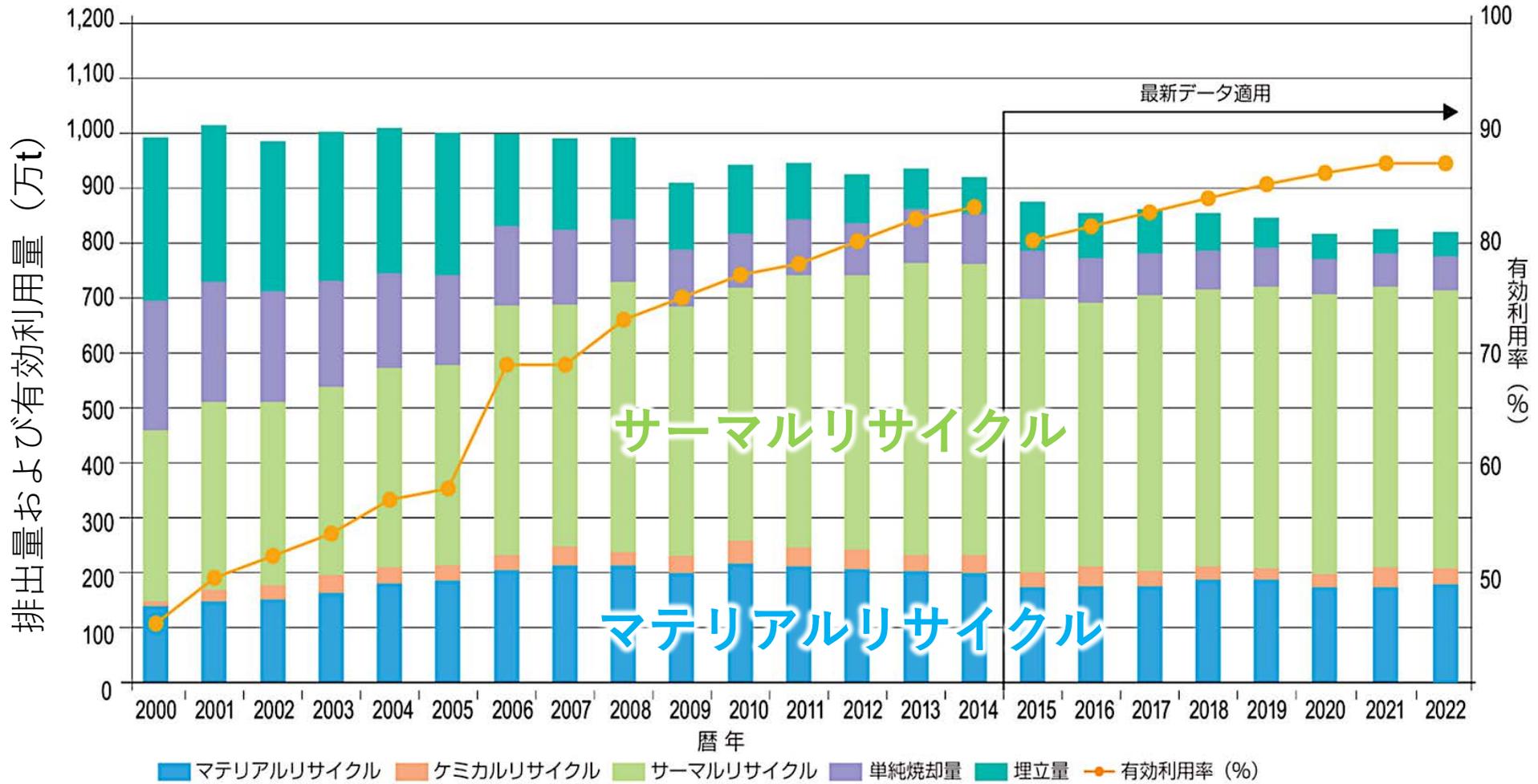
日本：プラスチック生産量 vs 消費量 vs 廃棄量

➤ プラスチック廃棄量：823万トン（2022年） 生産量の87 %



日本：廃プラスチックの有効利用/未利用量

➤ プラスチック廃棄量：823万トン（2022年） 有効利用率：87 %



3つのリサイクル

分類(日本)	リサイクルの手法	ISO 15270
マテリアルリサイクル (材料リサイクル)	再生利用 ・プラ原料化 ・プラ製品化	Mechanical Recycle (メカニカルリサイクル)
ケミカルリサイクル	原料・モノマー化	Feedstock Recycle (フィードストックリサイクル)
	高炉還元剤	
	コークス炉化学原料化	
	ガス化 化学原料化	
サーマルリサイクル (エネルギー回収)	油化 燃料	Energy Recovery (エネルギーリカバリー)
	セメント原・燃料化 ごみ発電	
	RPF*1 RDF*2	

リサイクルの優先順位

* 1 : Refuse Paper & Plastic Fuel (マテリアルリサイクルが困難な古紙と廃プラスチック類を原料とした高カロリーの固形燃料)

* 2 : Refuse Derived Fuel (生ごみや可燃ごみや廃プラスチックなどからつくられる固形燃料)

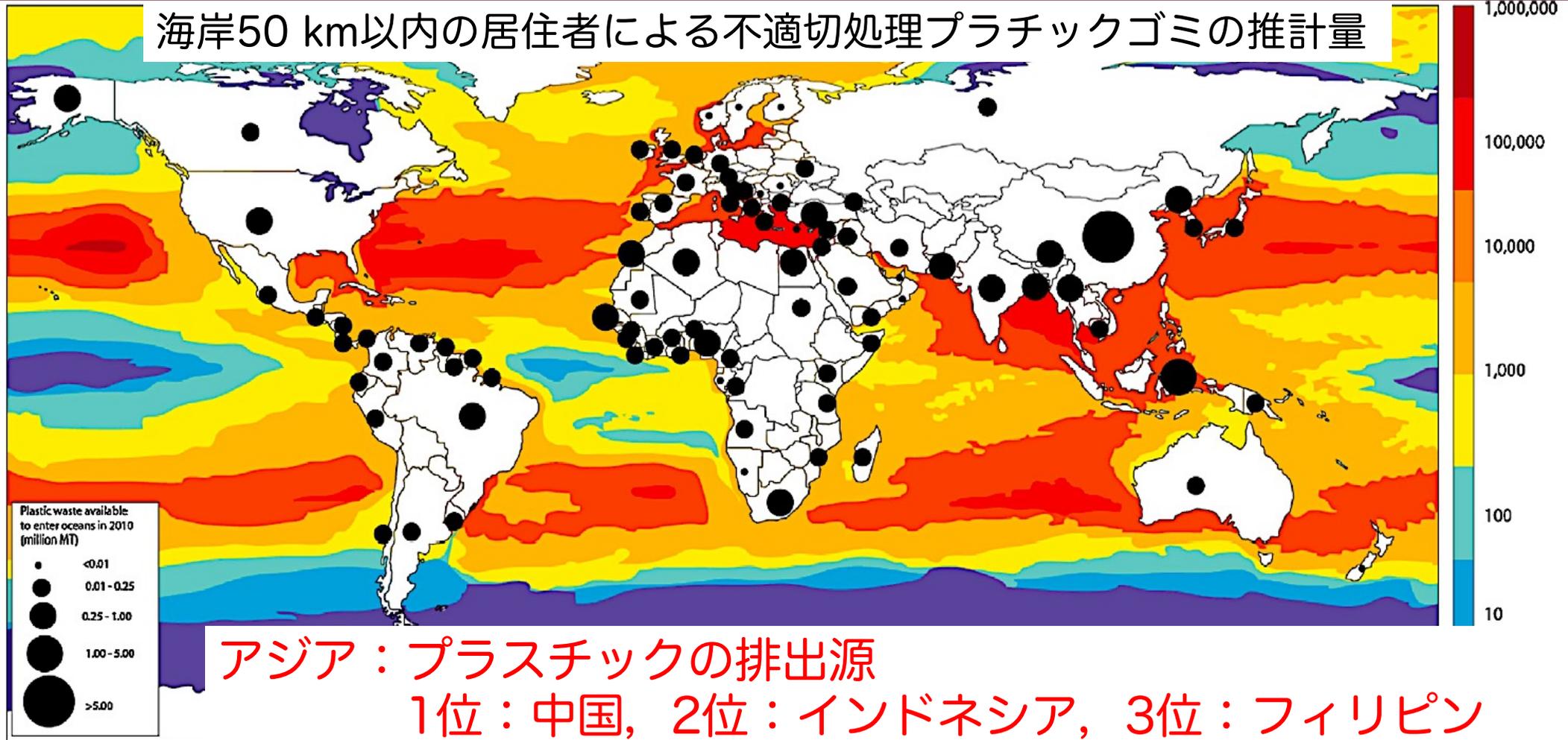
一般社団法人プラスチック循環利用協会 プラスチックリサイクルの基礎

海洋プラスチックゴミの現状



海洋プラスチックゴミの実態

海岸50 km以内の居住者による不適切処理プラスチックゴミの推計量



海洋プラスチックゴミとCOVID-19



世界の月間
推定使用量

マスク

: 1290億枚

手袋

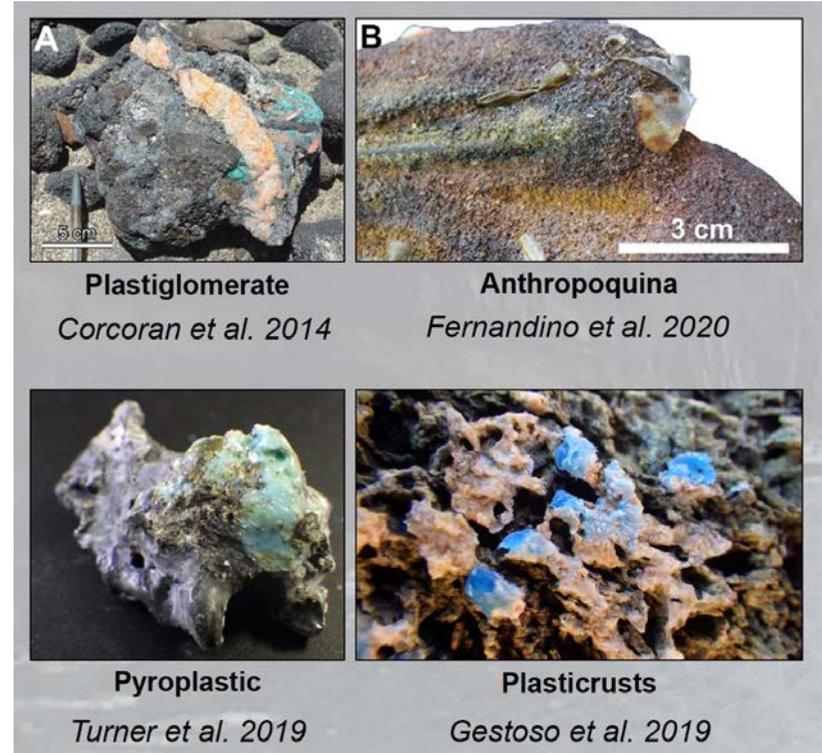
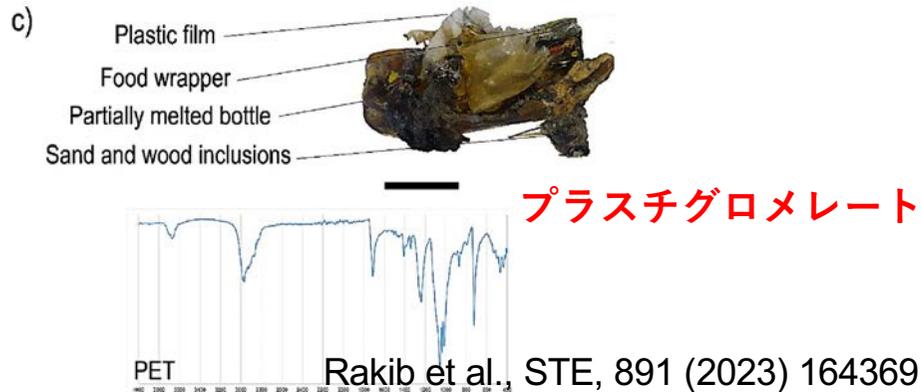
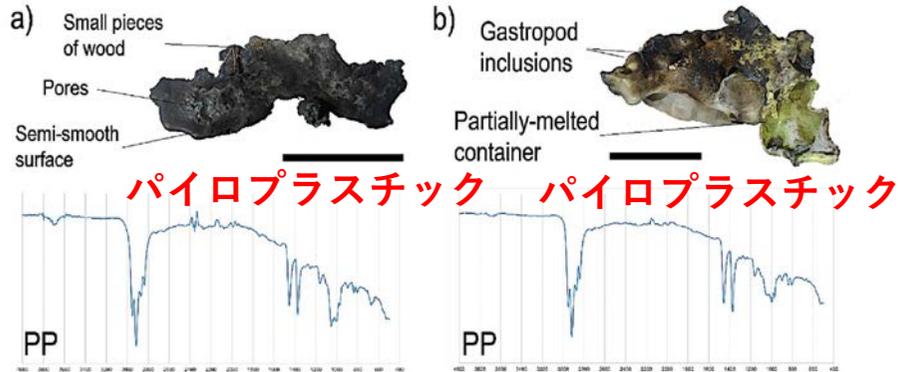
: 650億枚

日本 (2019年)
マスク国内生産・
輸入: 64億5500
万枚
3%流出と仮定す
ると **2億枚が流出**

人新世：石化するプラスチック

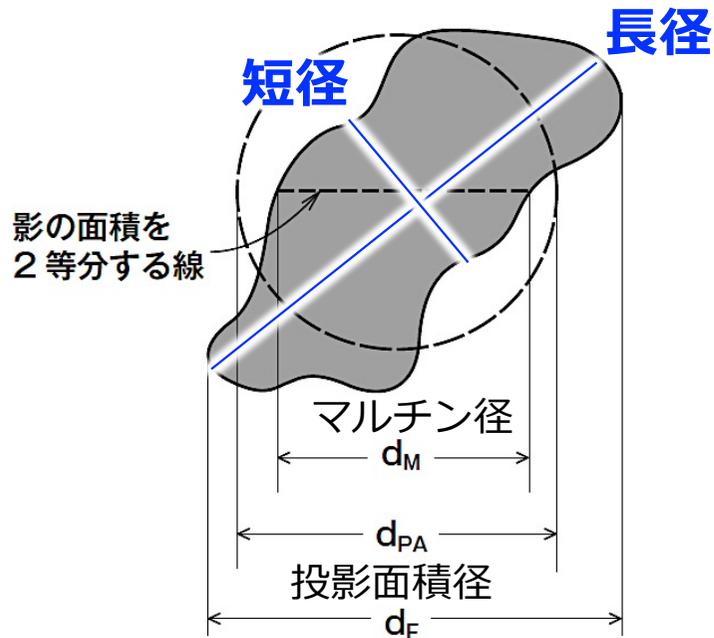
- **プラスチックグロメレート**：木材，貝殻，岩石などと一緒に溶けたプラスチック
- **パイロプラスチック**：石のような外観を持つ溶けたプラスチック
- **プラスチックラスト**：潮間帯の岩石に付着したプラスチック
- **アントロポキナス**：軟体動物の殻や珪質粒で固められた人為起源粒子を含む沿岸堆積岩

Elrich et al., 2022



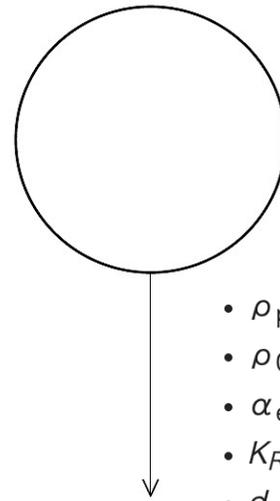
2. マイクロプラスチックとは？ ～海と空で何が違う？～

粒子径：海洋と大気で異なる



フェレ径
Feret diameter

定方向最長幅：
一定方向の粒子の線分の
最長の長さ



- ρ_p : 粒子の密度
- $\rho_0 = 1 \text{ g/cm}^3$
- α_e : 体積形状係数、粒子の体積 / (粒子の大きさ)³
- K_R : 抵抗形状係数、球形粒子を基準とした流体抗力の大きさの比
- d_e : 粒子の大きさ

空気動力学径, d_{ae}
Aerodynamic diameter

いろいろな形状をもつ粒子が空气中
で運動する際、その運動特性が**等価**
となる球（密度が 1 g/cm^3 ）の直径

粒子の密度

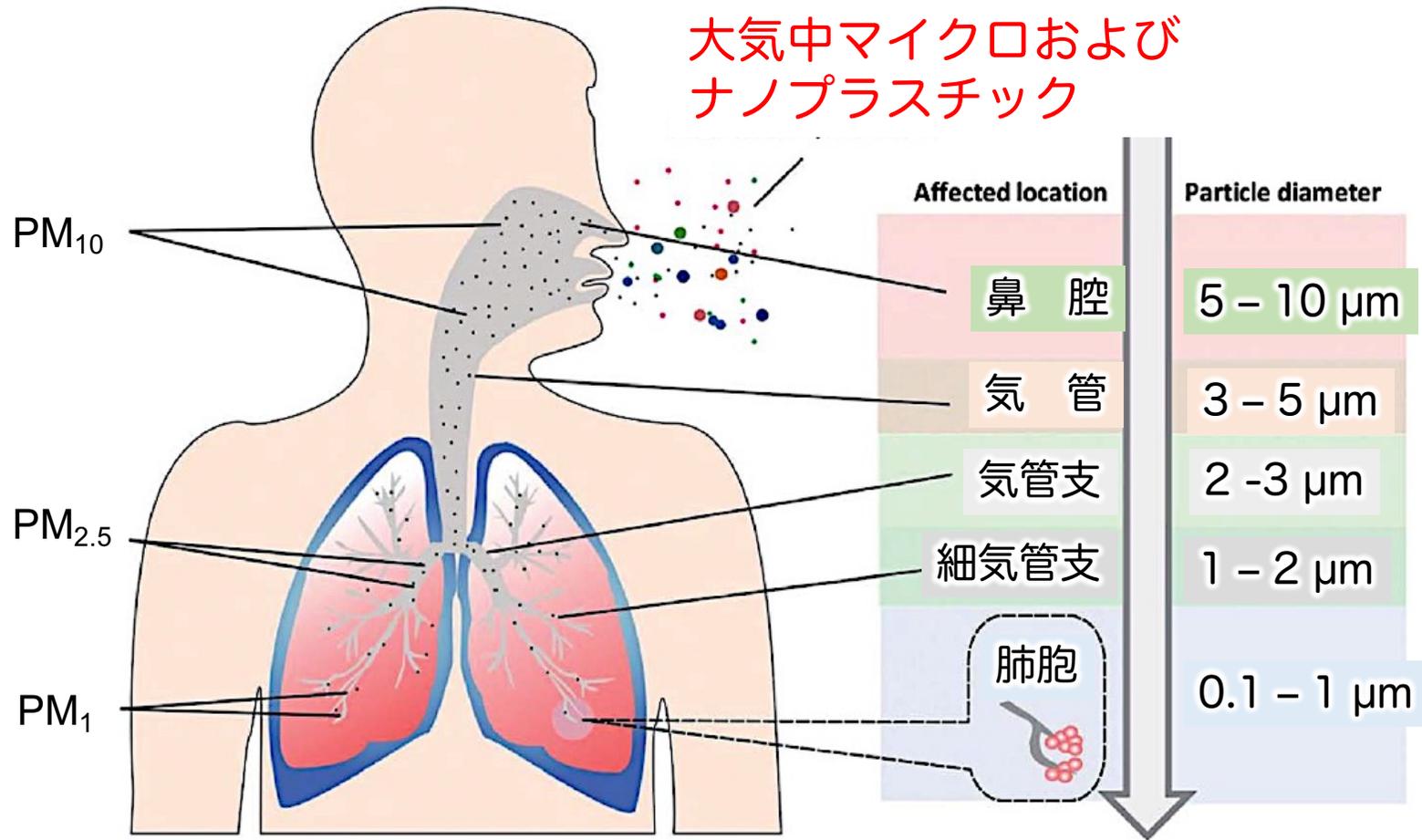
$$d_{ae} = \sqrt{\frac{6 \rho_p}{\pi \rho_0} \frac{\alpha_e}{K_R}} d_e$$

粒子の形状に
依存する係数

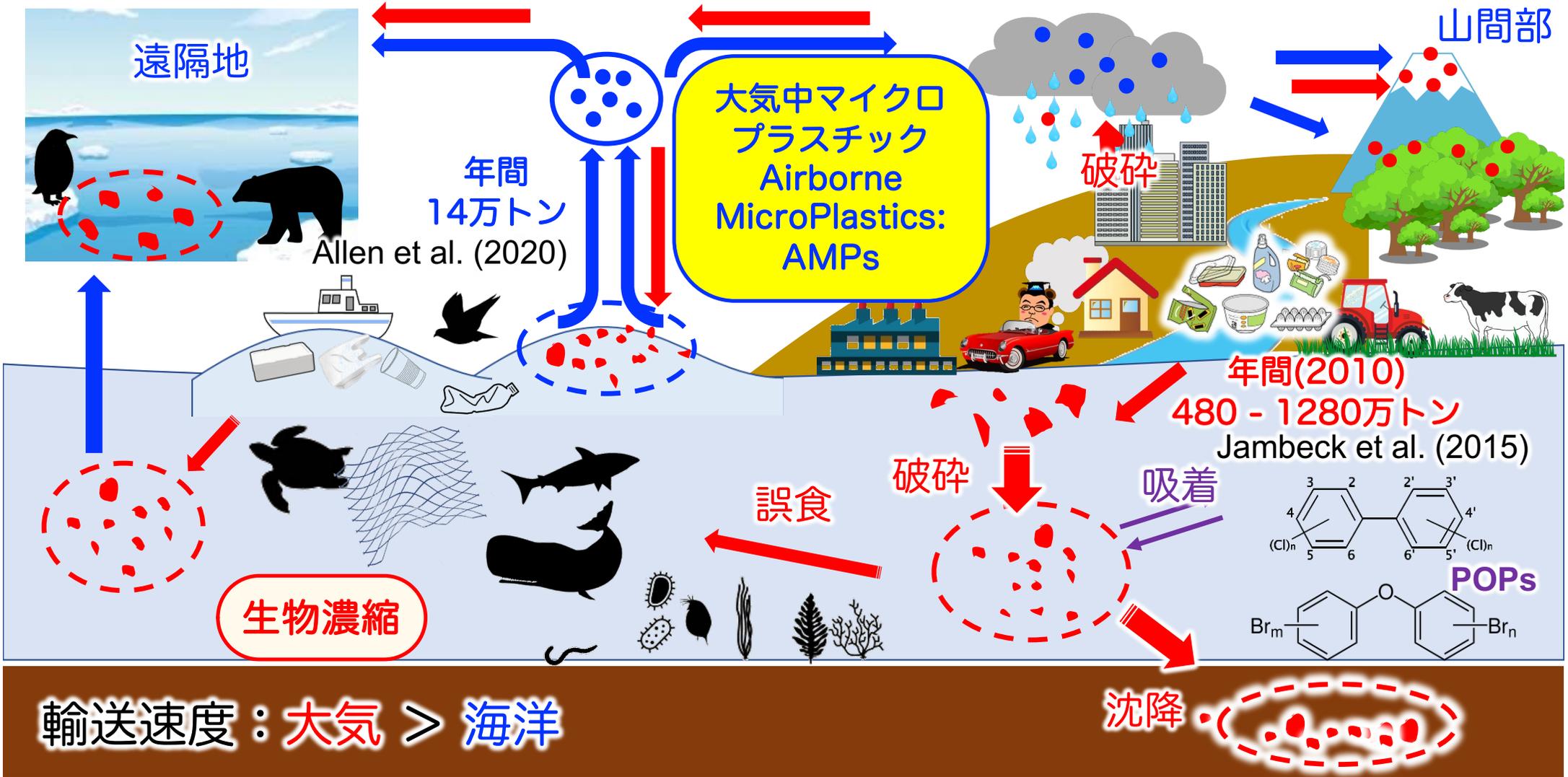
“変形しない”水滴
とみなした直径

PM_{2.5}：
空気動力学径

肺まで達するかどうかは空気動力学径で決まる



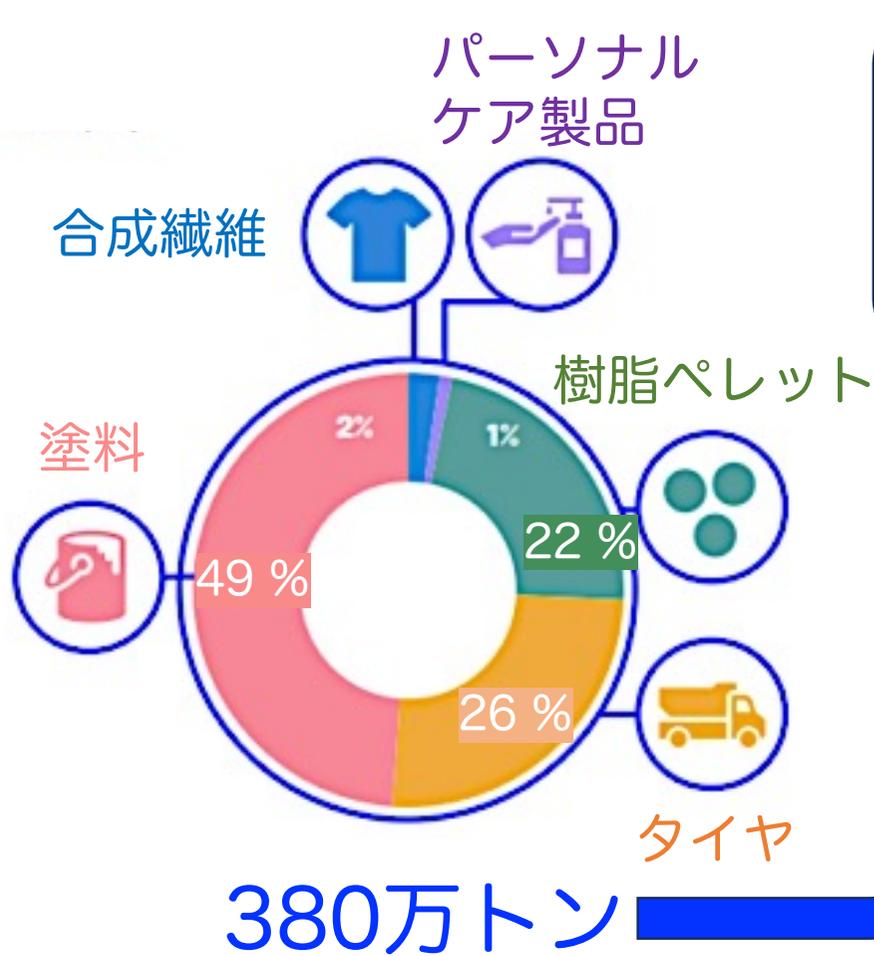
マイクロプラスチックは地球表層を巡る



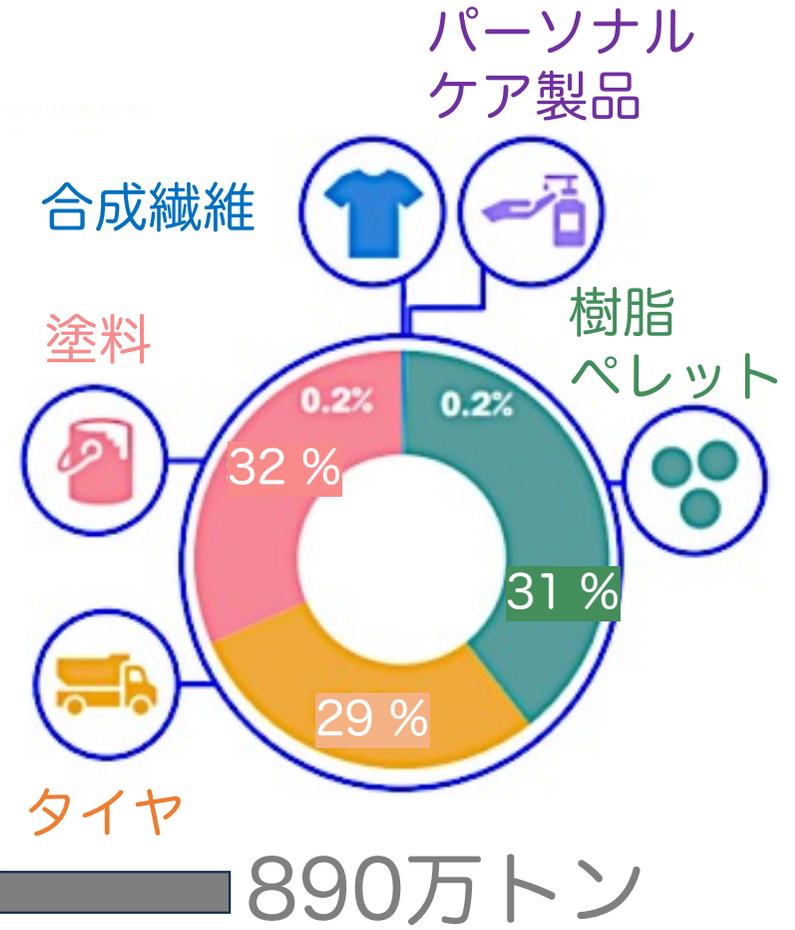
マイクロプラスチック流出量

2023年

海洋



陸域

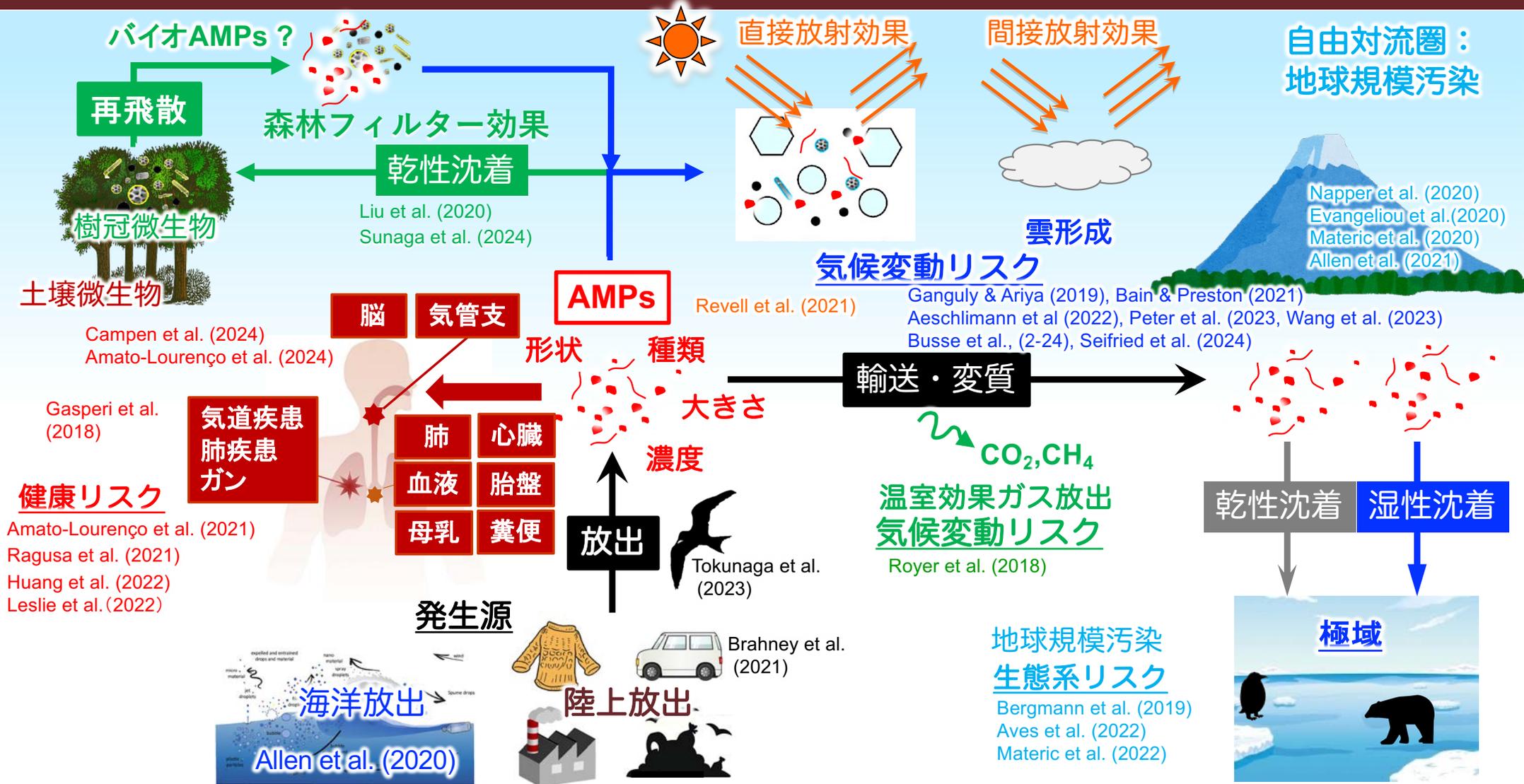


1270
万トン

3. 大気中マイクロプラスチック



大気中マイクロプラスチックの環境・健康リスク



野鳥の肺からも検出！



日本獣医生命科学大学
NIPPON VETERINARY AND LIFE SCIENCE UNIVERSITY

野鳥の肺からマイクロプラスチックを発見！

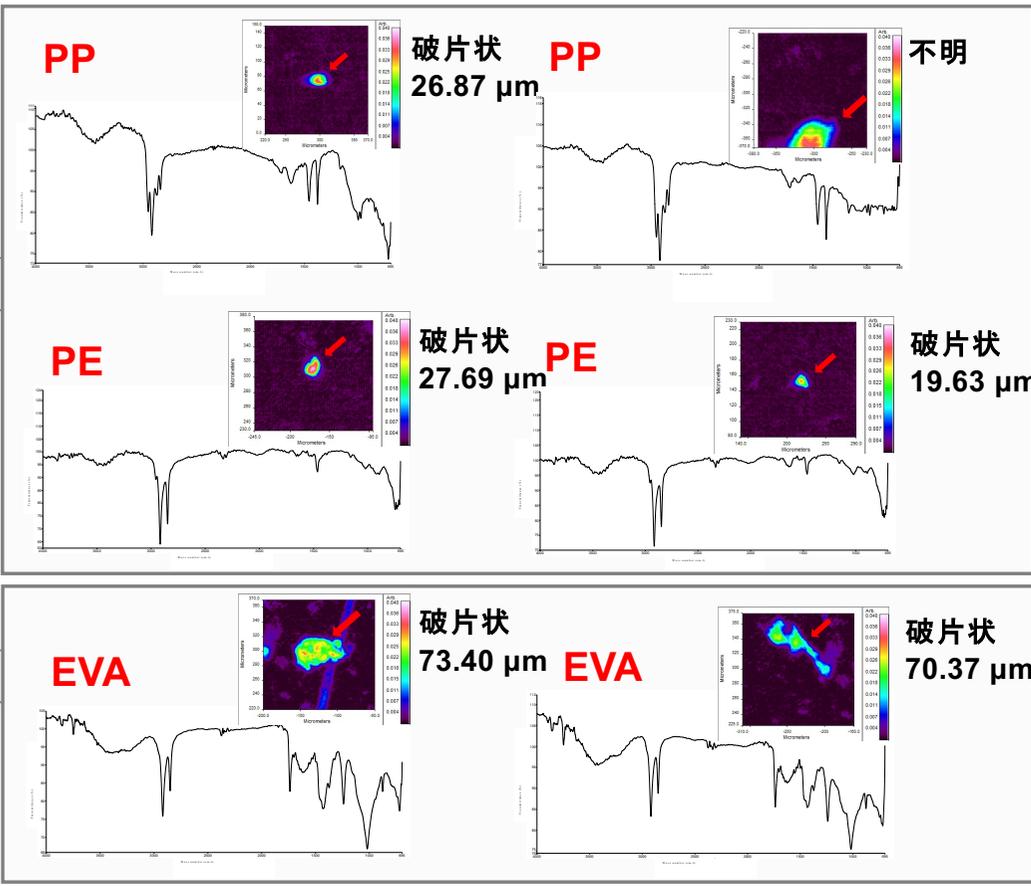
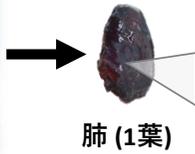
日本獣医生命科学大学羽山研究室
徳長ゆり香さん作成



● : 大気中マイクロプラスチック
カワラバト
(東京湾周辺で回収)



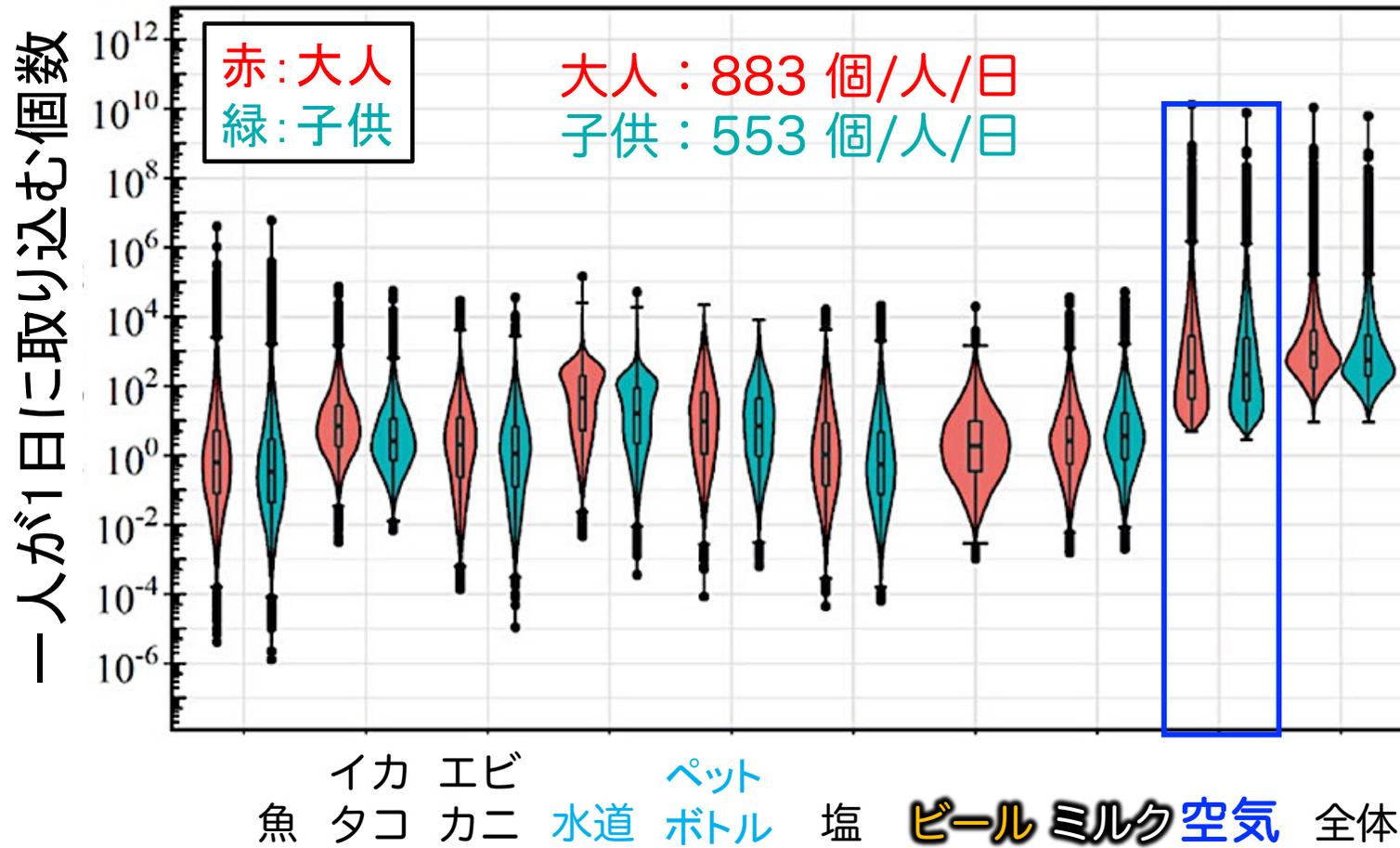
● : 大気中マイクロプラスチック
ツバメ
(伊勢湾周辺で回収)



人体への摂取経路

Nor et al., Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 5084–5096

人体に取り込まれるマイクロプラスチックの経路

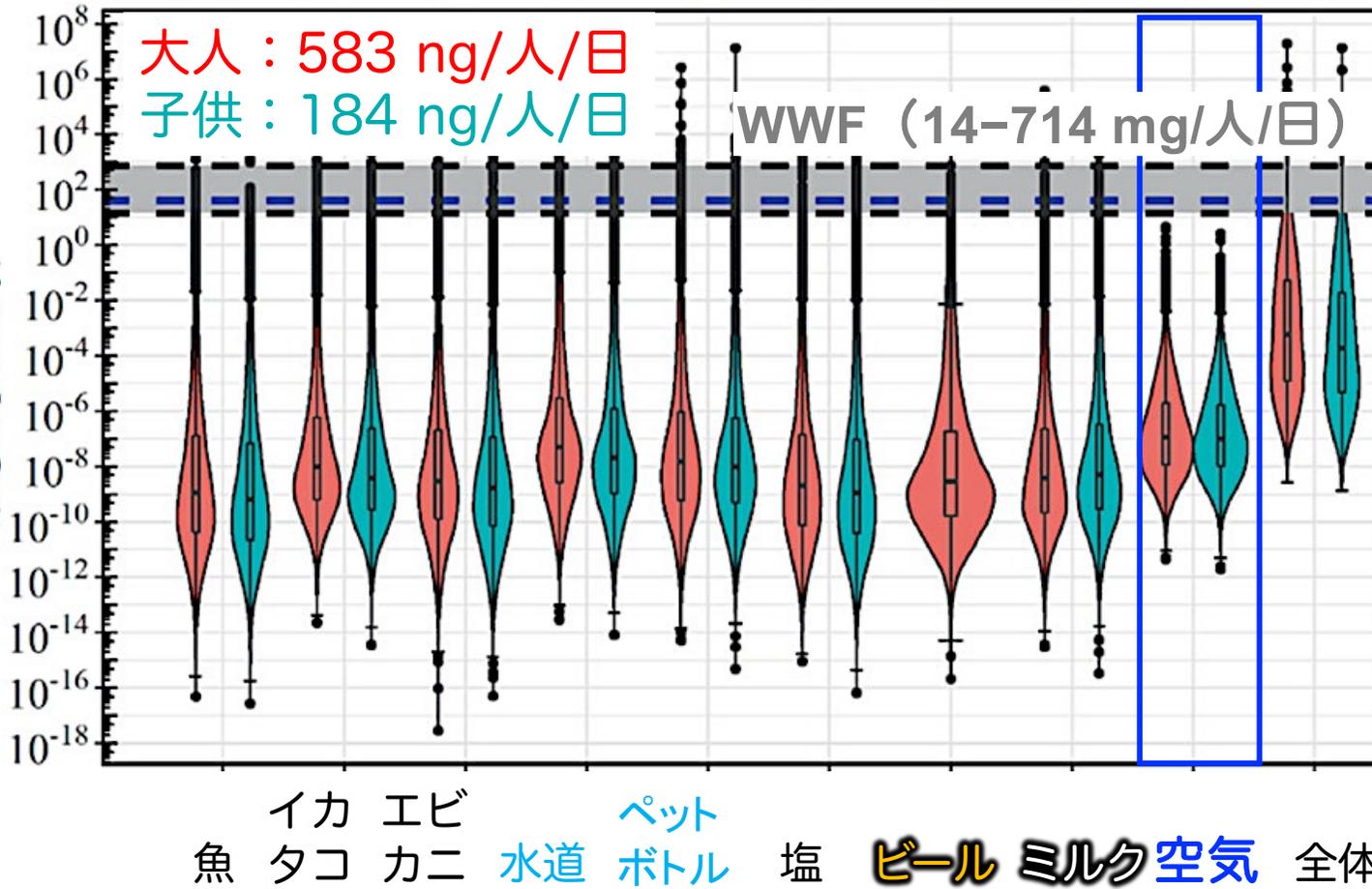


人体への摂取経路

Nor et al., Environ. Sci. Technol. 2021, 55, 5084–5096

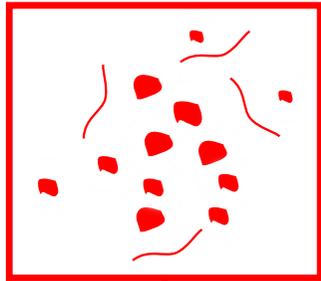
人体に取り込まれるマイクロプラスチックの経路

一人が1日に取り込む質量(mg/日)



食品中マイクロプラスチック

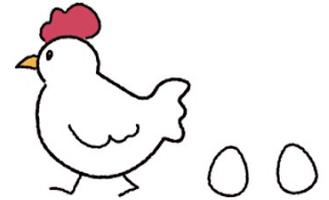
大気中マイクロ/ナノプラスチック



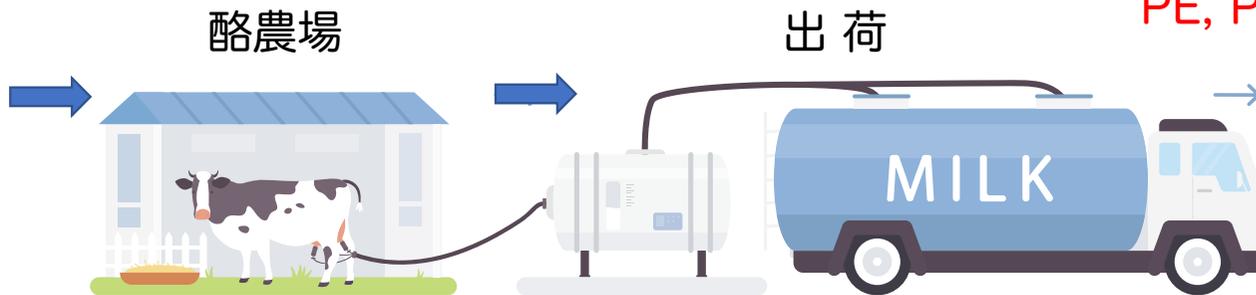
生乳 (Filho et al., 2021)
200 – 1000 個/100 mL
PE, PP, PES, PET, PS



空気?
エサ?
水?



cf. 12 個/卵 (Liu et al., 2022)
卵黄 > 卵白 PE

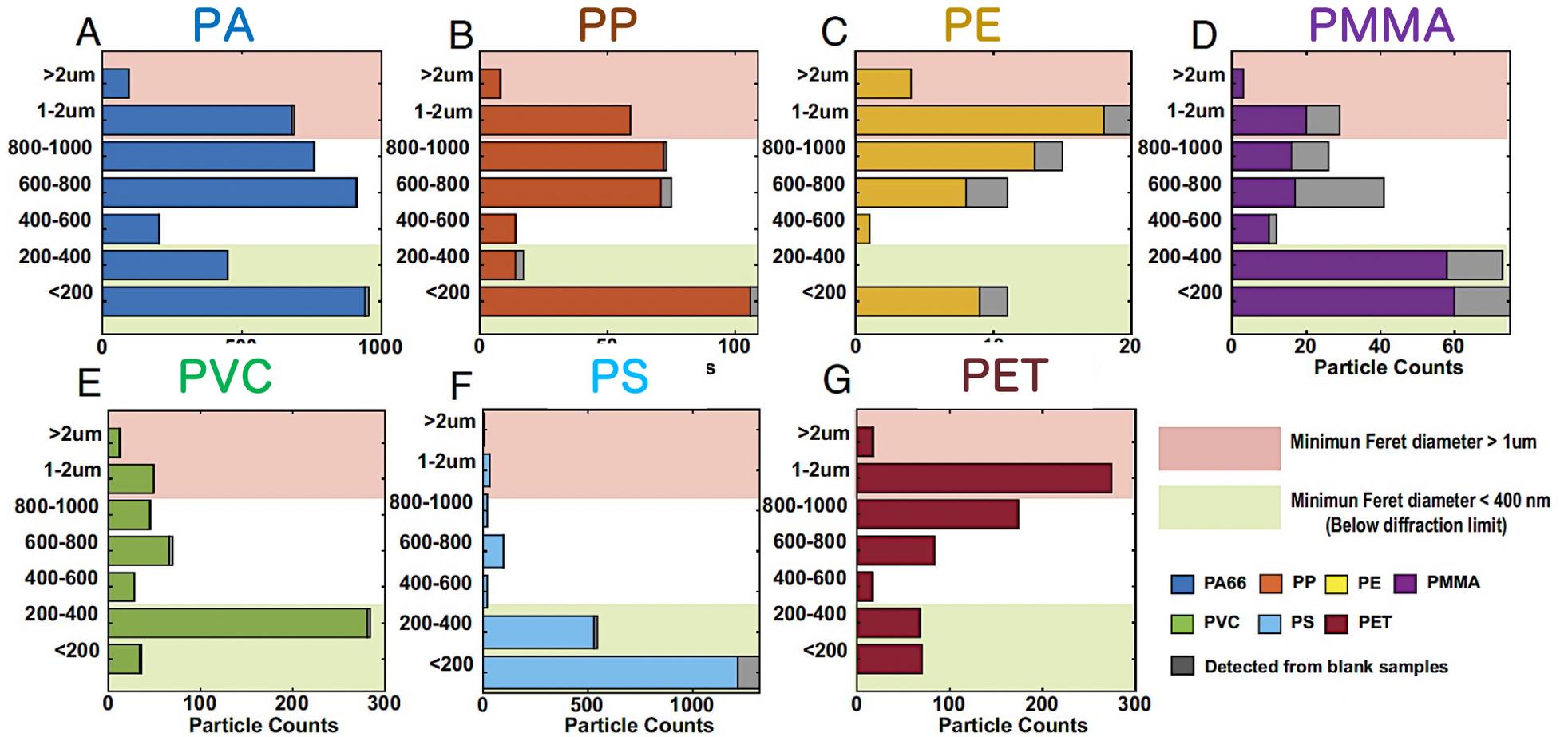


粉ミルク (Zhang et al., 2023)
1 – 11 個/100 g
PE, PET, PP, PA, PVC

飲料水中マイクロ/ナノプラスチック

➤ PA > PS (nano) > PVC (nano), PET

➤ 濃度：24万個/L (ナノプラ：90%)



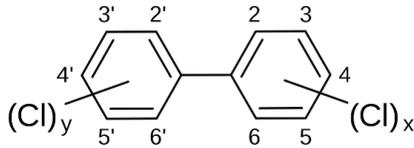
経気道摂取が多いのはなぜか？

呼吸回数

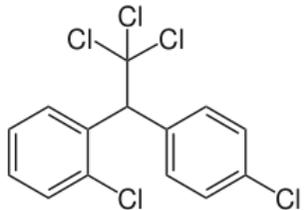
一日	2万回以上
一生	6億回～7億回

プラスチック：添加物と吸着物

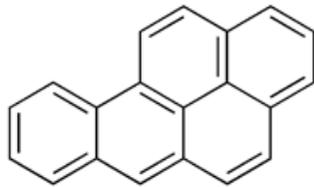
吸着物



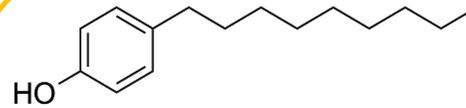
ポリ塩化ビフェニル
(PCBs)



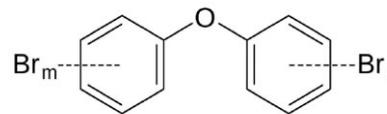
ジクロロジフェニルトリクロロ
エタン DDTs



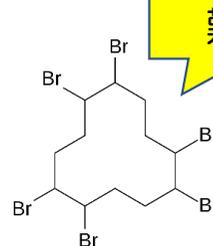
芳香族炭化水素
(PAHs)



ノニルフェノール



ポリ臭化ジフェニルエー
テル (PBDEs)

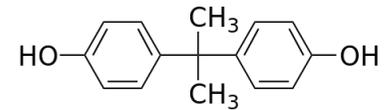


難燃剤

ヘキサブロモシクロドデカ
ン (HBCDs)

添加物

酸化
防止剤



ビスフェノール A

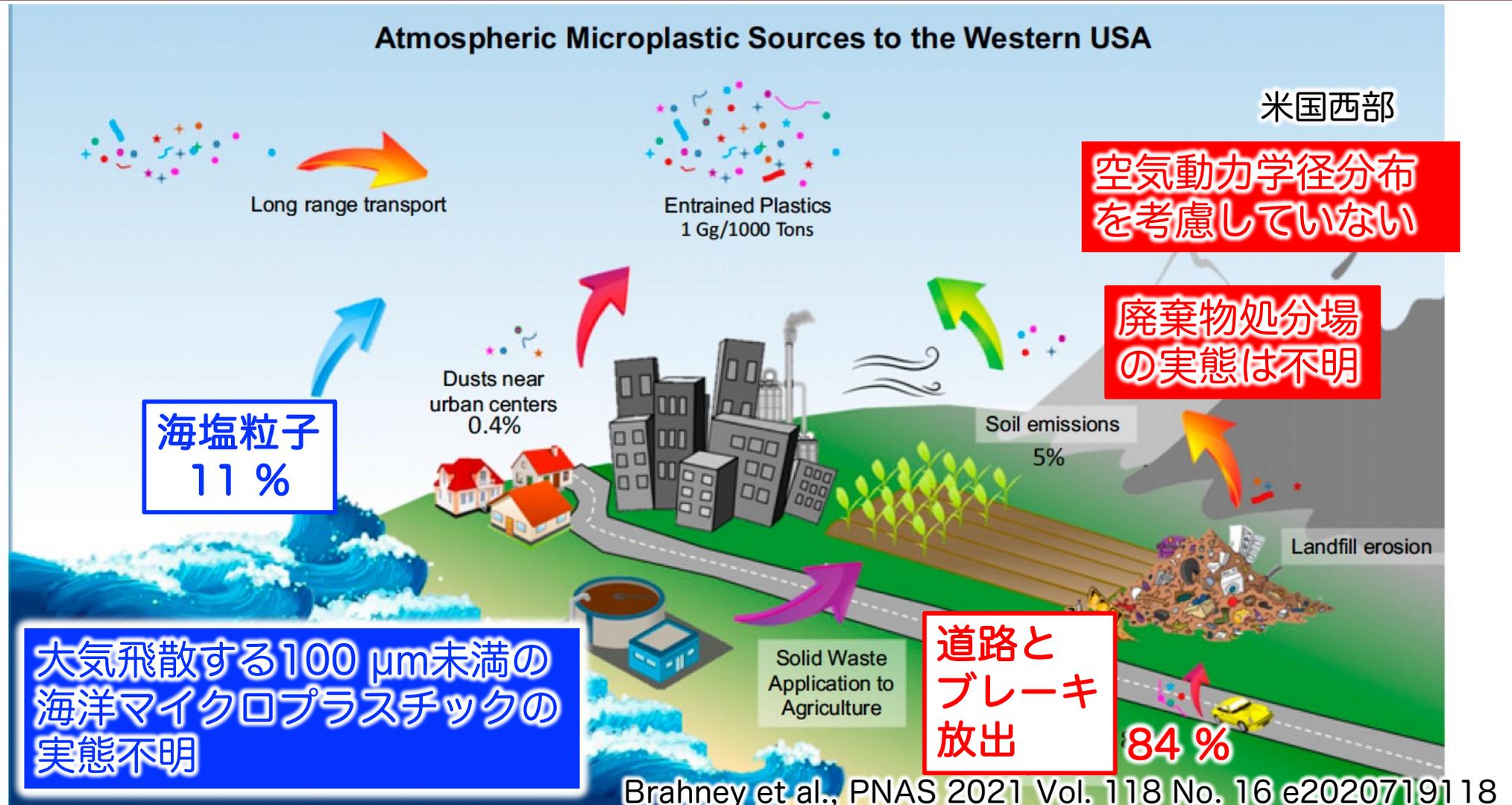
タイヤゴム酸化防止剤
N-(1,3-ジメチルブチル)-N'-
フェニル-p-フェニレンジ
アミン (6PPD)



6PPD-quinone

ギンザケ
の急性死亡

どこから排出されるのか？

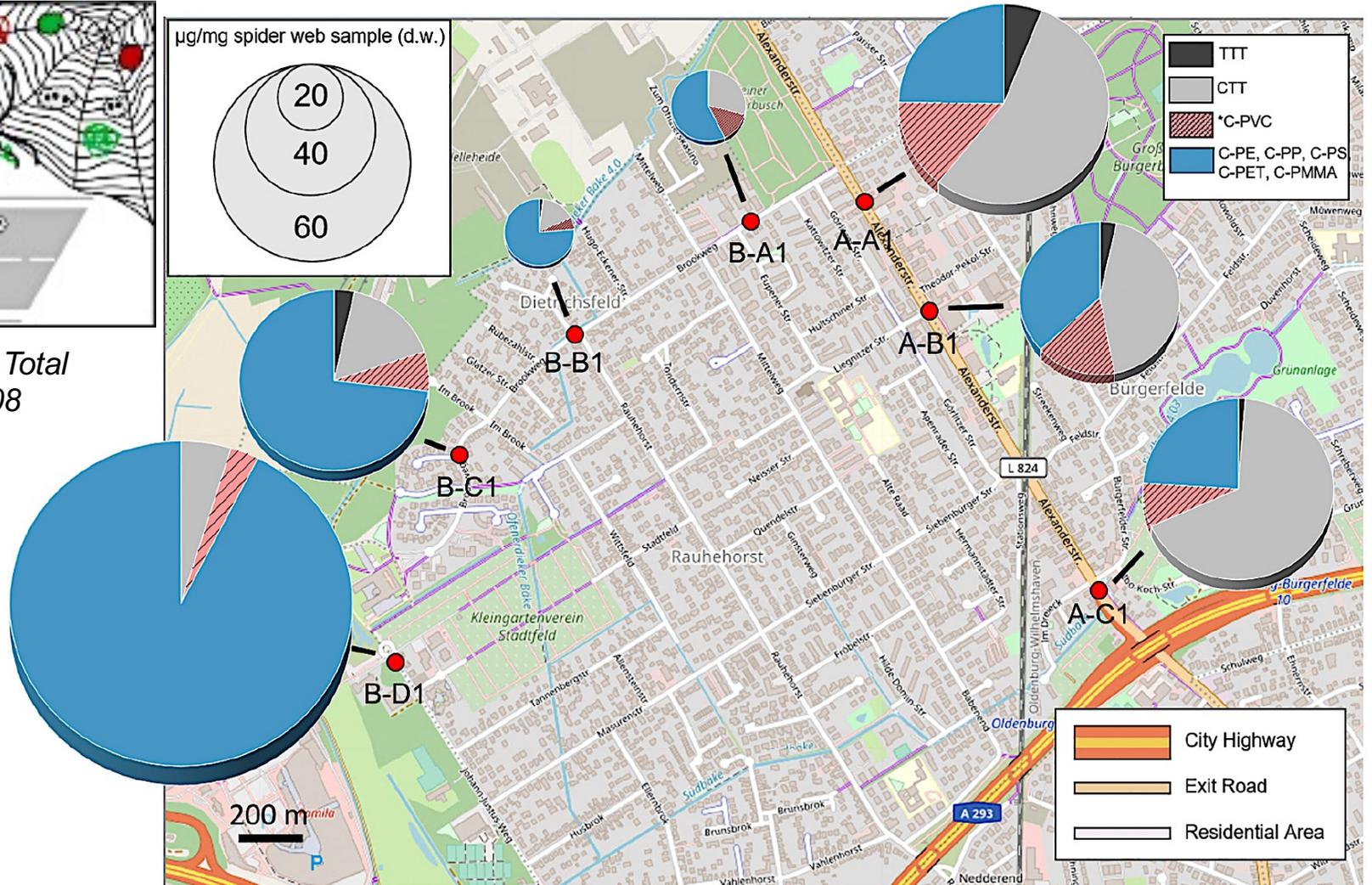
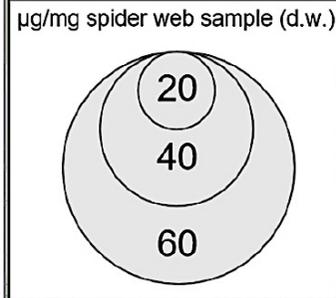


道路沿道大気の観測例



Goßmann et al., *Science of the Total Environment*, 832 (2022) 155008

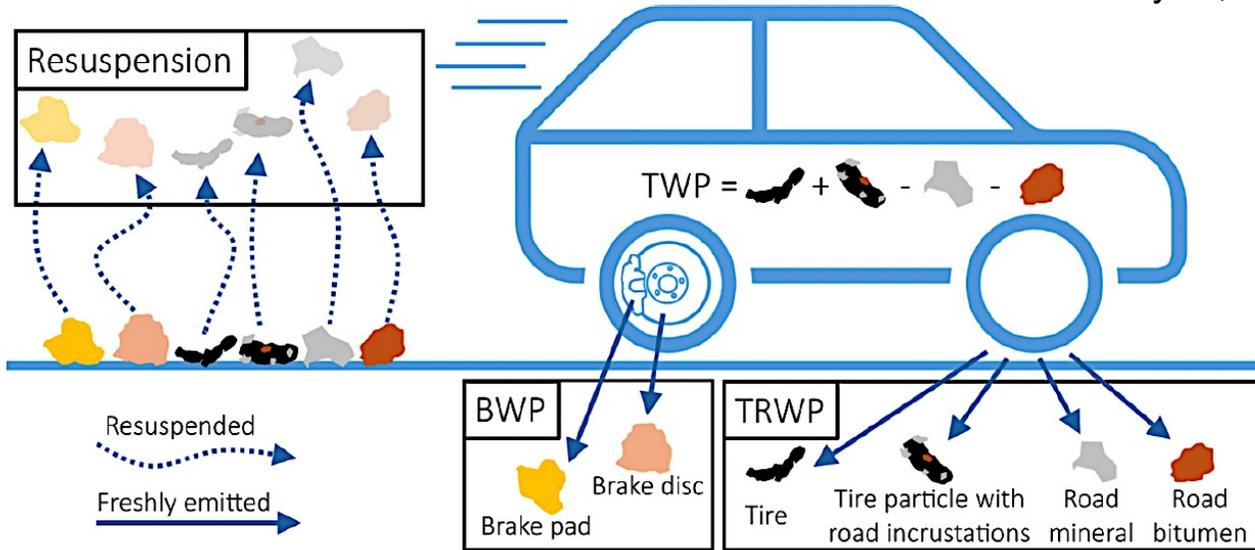
- ✓ 幹線道路：
自動車タイヤ磨耗塵(CTT)
道路塗装(*C-PVC)
- ✓ 住宅街：
汎用プラスチック



200 m

道路から排出されるマイクロプラスチック

Saladin ey al., Environ. Sci. Technol. Lett. 2024, 11, 1296–1307



- ✓ **Tire Wear Particles (TWP)**
タイヤ磨耗粒子
- ✓ **Tire and Road Wear Particles (TRWP)**
タイヤおよび道路磨耗粒子
- ✓ **Brake Wear Particles (BWP)**
ブレーキ磨耗粒子
- ✓ **Resuspension : 再浮遊**

- ✓ **Road paint** : 道路塗装
- ✓ **Road marking**: 路面標示
- ✓ **Braille block** : 点字ブロック
- ✓ **Reflector** : 反射板
- ✓ **Pole** : ポール



その他の陸域発生源：人工芝

人工芝

- ・ポリエチレン (PE)
- ・ポリプロピレン (PP)
- ・エチレン-酢酸ビニル共重合樹脂 (EVA)

ゴム充填剤

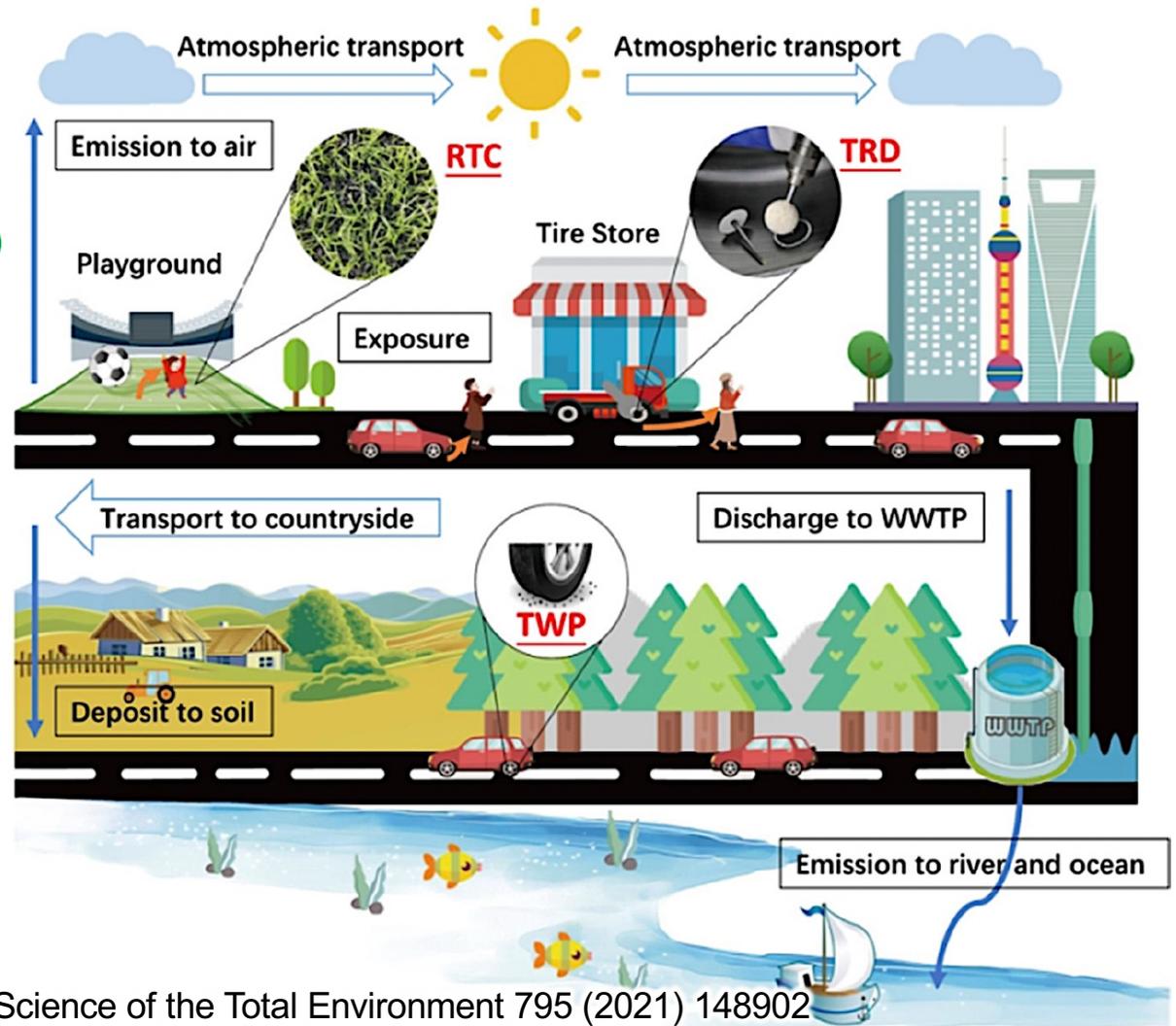
✓ 役割

- ・ブレードを直立
- ・衝撃吸収
- ・耐摩耗性
- ・滑り防止

✓ 材質 (国内)

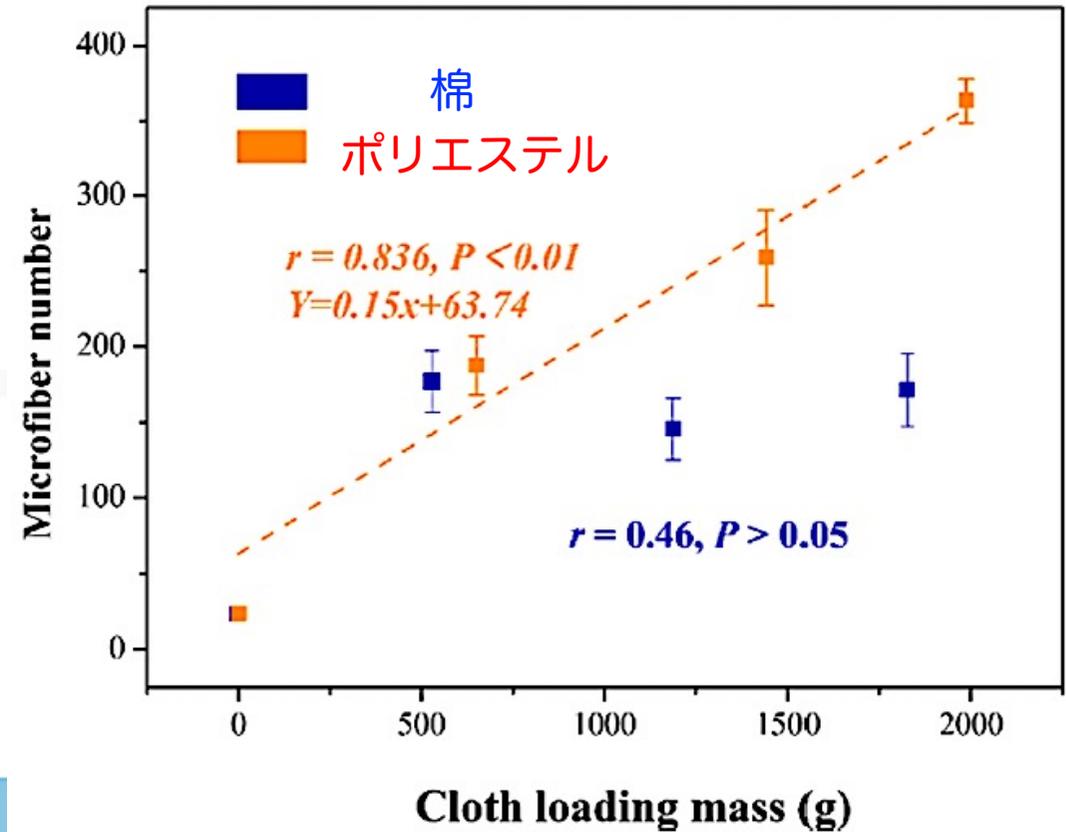
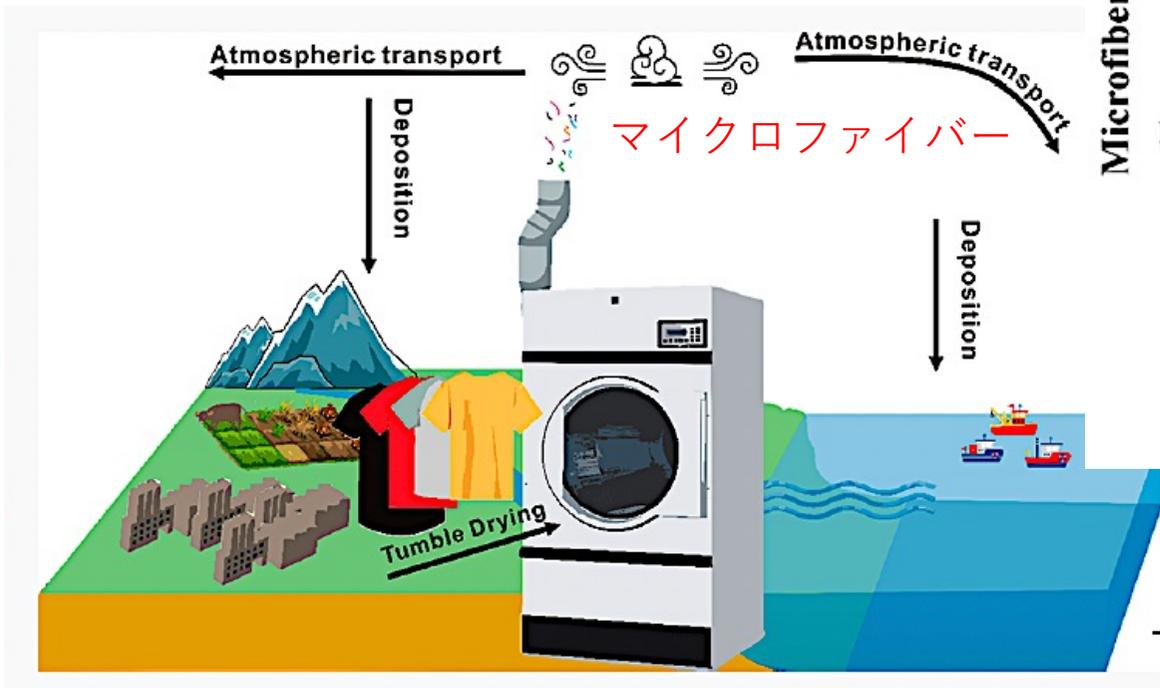
- ・廃タイヤ: **SBR/NR**
- ・工業用ゴム: **SBR/NR/EPDM**
- ・混合物/不明: **SBR/NR/EPDM**
- ・人工芝用ゴム: **EPDM**

4大陸17カ国の人工芝ゴム充填剤から有害化学物質 (PAHs, 添加剤, 加硫剤) が検出



その他の陸域発生源：家庭用乾燥機

マイクロファイバー年間放出量：
家庭用回転式乾燥機1台あたり、
9千万本～1億2千万本



Tan et al., EST, 9, 120-125 (2022)

太陽光により温室効果ガスを排出

Royer et al., PLoS ONE (2018)

