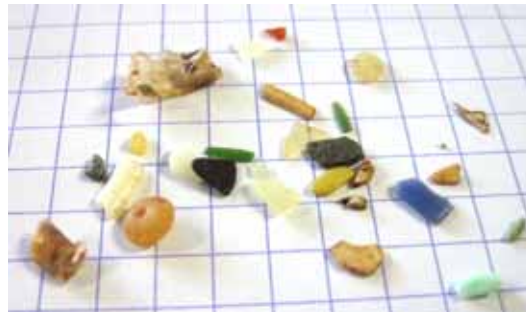


マイクロプラスチック汚染： 地球規模での汚染、継時的トレンド、 解決への方向性

高田秀重



東京農工大学 農学部 環境資源科学科

マイクロプラスチックは21世紀の環境問題

海洋プラスチック汚染への初めの警鐘は1972年

サルガッソー海の高表面のプラスチック

Carpenter and Smith (1972) サイエンス, March 17 p.1240-1241.



Fig. 1. Typical plastic particles from tow 2. White pellets are on the left.

大西洋の高表面のプラスチック汚染:海鳥からの証拠

Rothstein (1973),
コンドル, vol.75, p.344-345

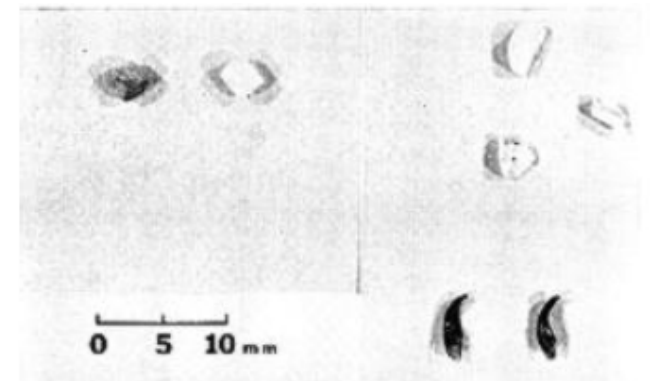
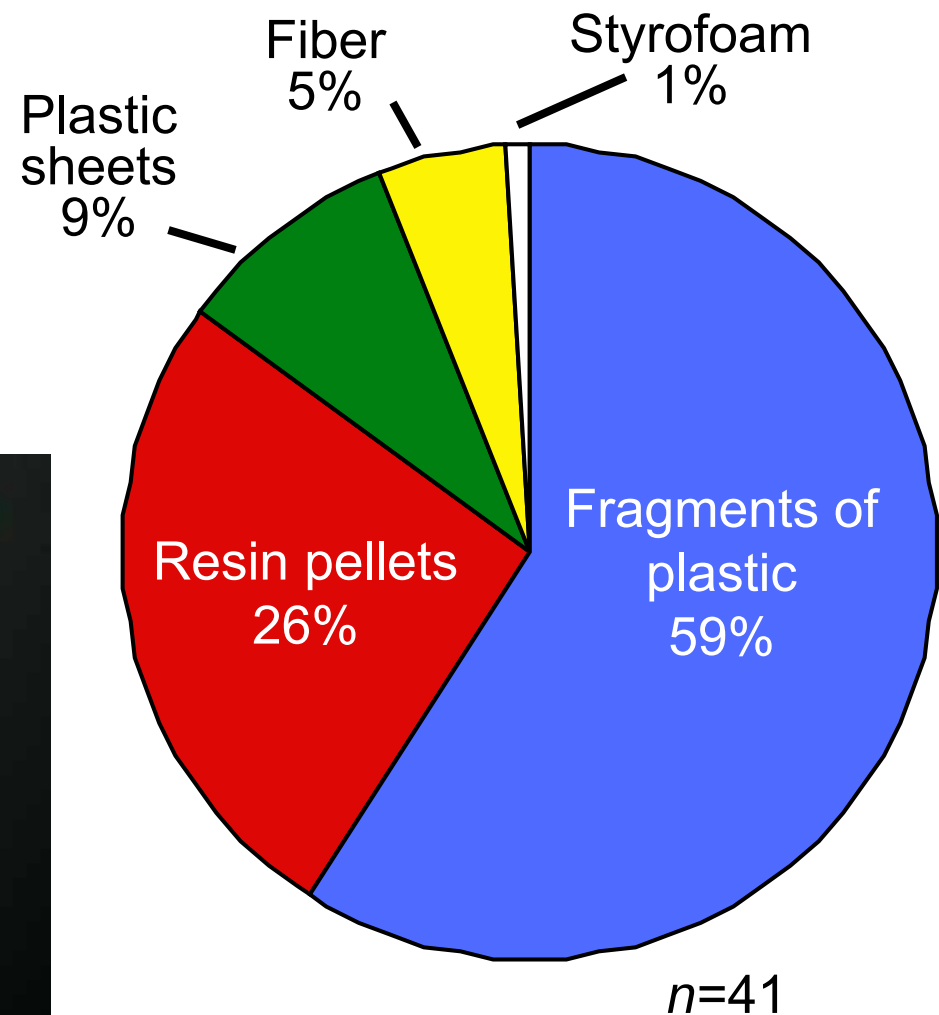


FIGURE 1. Objects found in the stomachs of two Leach's Petrels. The two pieces of plastic in the upper left corner were found in the gizzard of a petrel collected on Gull Island, Newfoundland. The three pieces of plastic as well as the two claw-like structures in the right half of the figure were all found in the gizzard of a petrel collected on Kent Island, New Brunswick. The claw-like structures have been tentatively identified as the pharyngeal teeth of a large polychaete.

海洋生物がプラスチックを摂食する

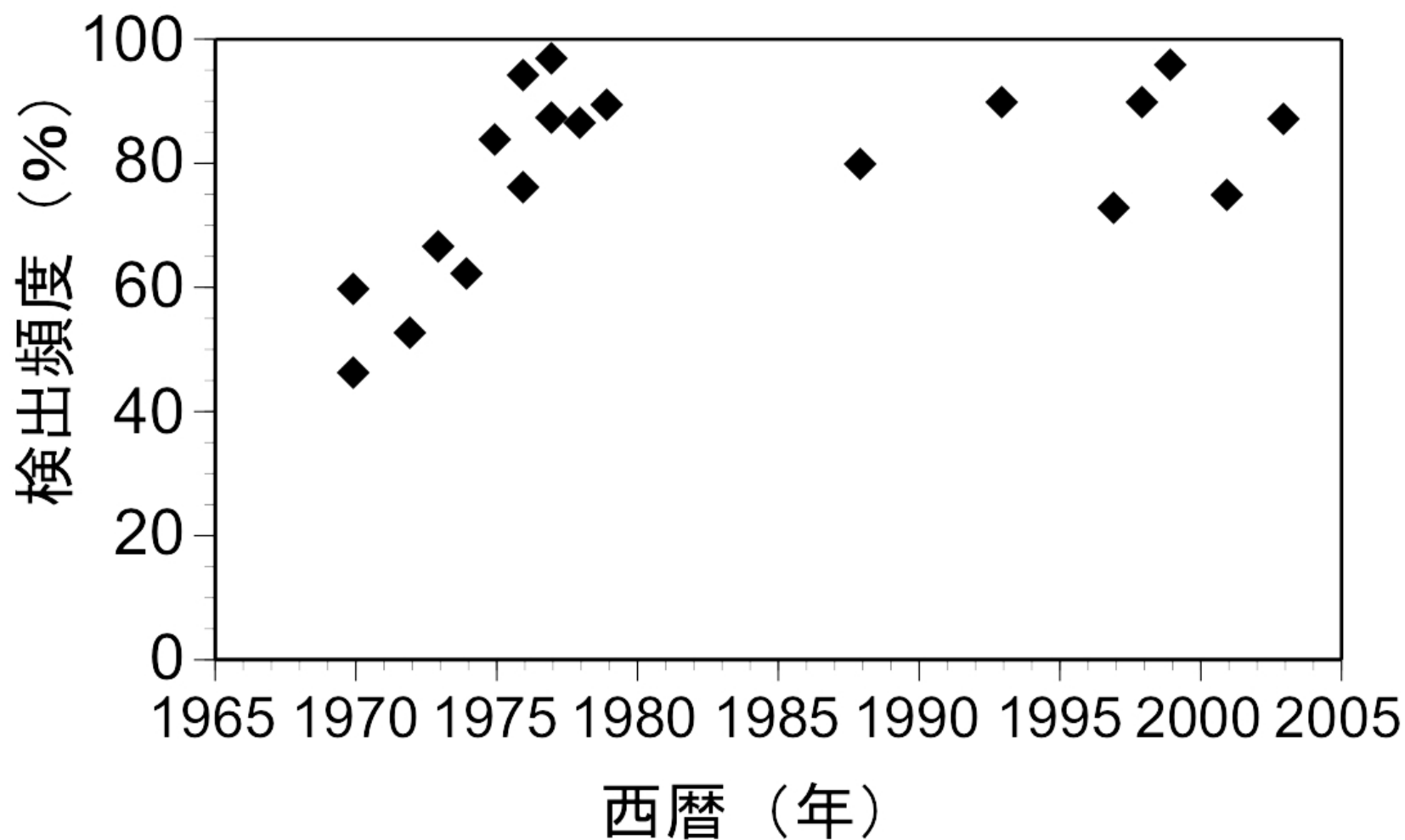


ハシボソミズナギドリ



Type and composition of plastics found in the stomachs of short-tailed shearwater. After Yamashita *et al.*

海鳥の胃の中からのプラスチック検出頻度は経年的に増えてきて、1980年にはほぼ全ての個体からプラスチックが検出された。



山下麗博士論文より

チャールズモア船長が太平洋巨大渦流にプラスチックゴミだまりを発見(1997)



顕微鏡サイズのプラスチックが海洋環境中で発見される (2000年代)

7 MAY 2004 VOL 304 SCIENCE www.sciencemag.org

Lost at Sea: Where Is All the Plastic?

Richard C. Thompson,^{1*} Ylva Olsen,¹ Richard P. Mitchell,¹
Anthony Davis,¹ Steven J. Rowland,¹ Anthony W. G. John,²
Daniel McGonigle,³ Andrea E. Russell³

プラスチックが海洋環境 中で有害化学物質の 運び屋になる

Environmental Science & Technology
2001, vol.35, 318-324





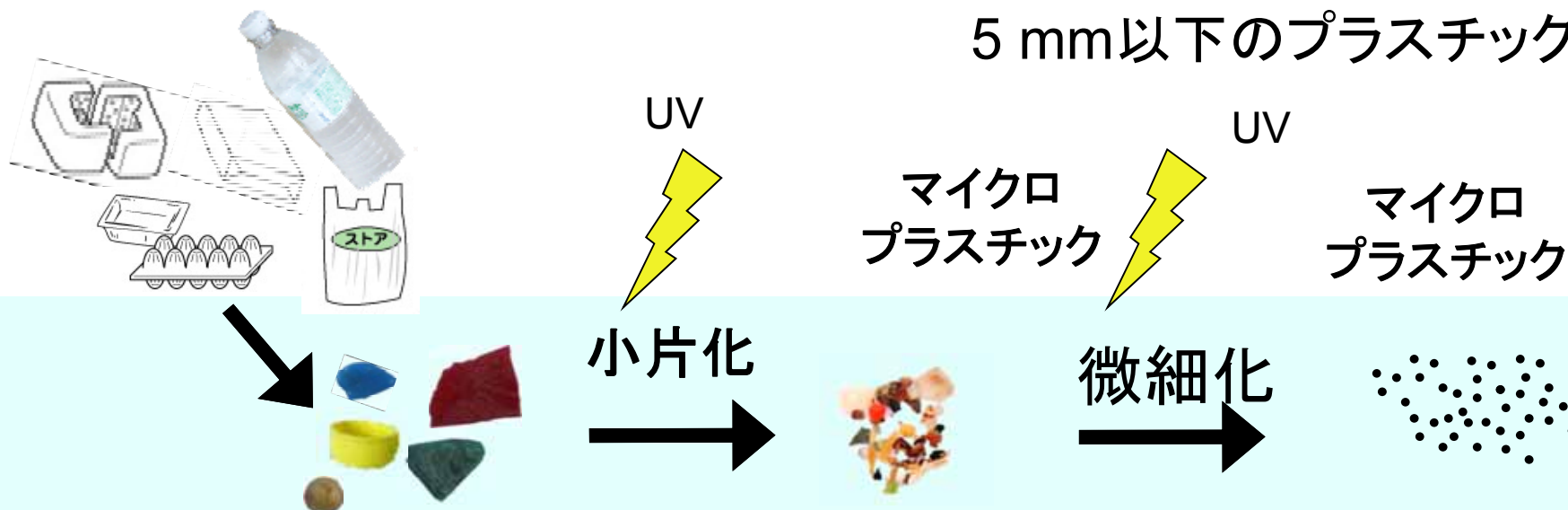
マイクロ
プラスチック

5 mm以下の
プラスチック

日本列島から1000km離れた太平洋上で気象庁が採取したマイクロプラスチック。
これにも有害な化学物質が含まれています。

プラスチックは紫外線、熱、波の力などにより細かな破片になっていく

5 mm以下のプラスチック



紫外線や波の力で壊れて細かくなっていく。
砂浜の上は光と熱でどんどん小片化・微細化が進む。
微細化してもプラスチックであることに変わりはありません。

海底/堆積物



外洋でプラスチックゴミが溜まる場所

Plastic debris in the open ocean

www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1314705111

Andrés Cózar^{a,1}, Fidel Echevarría^a, J. Ignacio González-Gordillo^a, Xabier Irigoien^{b,c}, Bárbara Úbeda^a, Santiago Hernández-León^d, Álvaro T. Palma^e, Sandra Navarro^f, Juan García-de-Lomas^a, Andrea Ruiz^g, María L. Fernández-de-Puelles^h, and Carlos M. Duarte^{i,j,k,l}

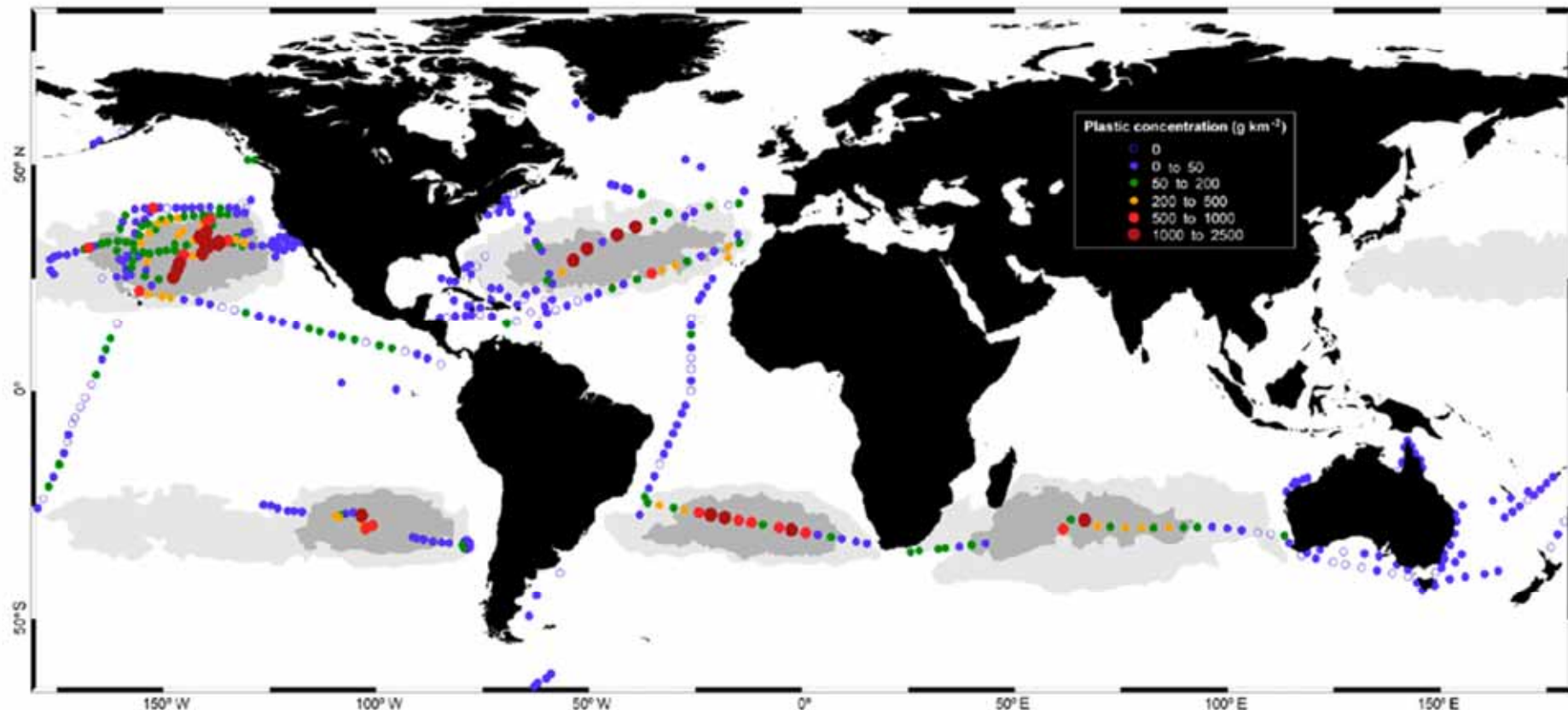
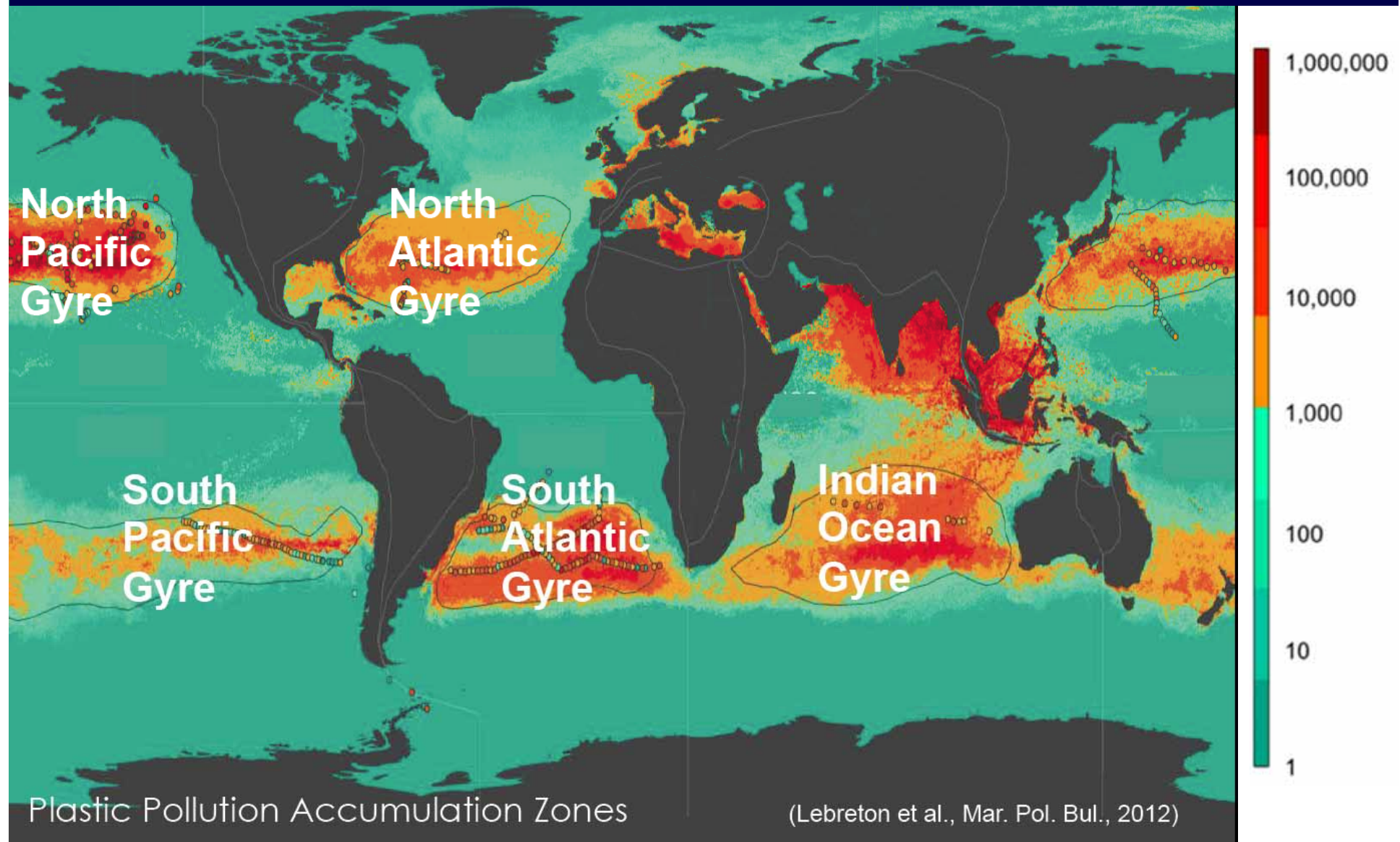


Fig. 1. Concentrations of plastic debris in surface waters of the global ocean. Colored circles indicate mass concentrations (legend on top right). The map shows average concentrations in 442 sites (1,127 surface net tows). Gray areas indicate the accumulation zones predicted by a global surface circulation model (6). Dark and light gray represent inner and outer accumulation zones, respectively; white areas are predicted as nonaccumulation zones. Data sources are described in *SI Appendix, Table S1*. Plastic concentrations along the Malaspina circumnavigation and a latitudinal gradient are graphed in *SI Appendix, Figs. S4 and S5*.

5兆個のプラスチックが世界の海を漂っている



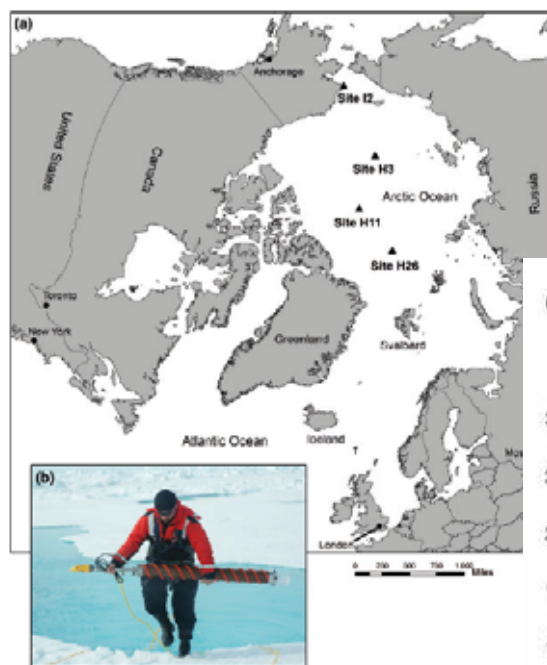
(個/km²)

極域にもプラスチックが分布

Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice

Rachel W. Obbard¹, Saeed Sadri², Ying Qi Wong¹, Alexandra A. Khitun¹, Ian Baker¹, and Richard C. Thompson²

¹Thayer School of Engineering at Dartmouth College, Hanover, New Hampshire, USA, ²Marine Biology and Ecology Research Centre, School of Marine Science and Engineering, University of Plymouth, Plymouth, UK



北極
2014年

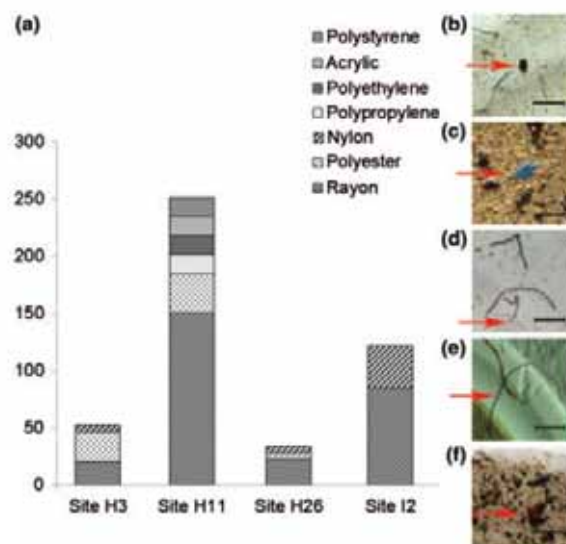


Figure 2. (a) Total number of microplastic pieces presented as values per liter of seawater (scaled up from sample volumes examined which were typically 50–100 cm³), by polymer type, according to the location of sea ice cores. Photographs of microplastic fragments identified using FTIR: (b) HOTRAX Site 3, polyethylene terephthalate (polyester), (c) HOTRAX Site 11, polypropylene, (d) HOTRAX Site 26, polyester, (e) ICESCAPE Site 2, nylon, and (f) HOTRAX Site 11, polyethylene. Scale bars represent 1 mm.

ice, *Earth's Future*, 2, 315–320,
doi:10.1002/2014EF000240.



Baseline

Microplastics in the Southern Ocean

Atsuhiko Isobe **, Kaori Uchiyama-Matsumoto **, Keiichi Uchida **, Tadashi Tokai *

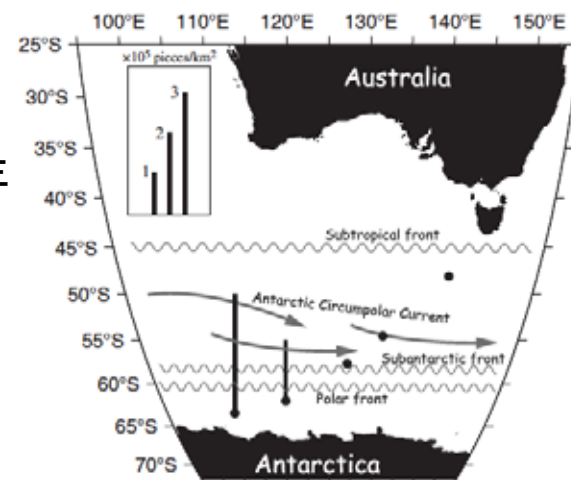


Fig. 4. Observed total particle counts and schematic view of oceanic conditions in the Southern Ocean. The bars at Stas. 1 and 2 indicate the total particle counts listed in Table 3; see the reference scale shown in the upper left corner. The particle counts at Stas. 3, 4, and 5 were not shown because the numbers of collected microplastics were negligibly small. We referred to Fig. 6.7 in Tomczak and Godfrey (1994) for the positions of three oceanic fronts in the schematic view. The arrows represent the Antarctic Circumpolar Current, placed approximately on the curves along which the wind-stress curl vanishes (i.e., maximal wind stress) in Fig. 6.5b of Tomczak and Godfrey (1994).

極域のプラスチックは極域の生物に取り込まれている

Ambio Vol. 32 No. 6, Sept. 2003

Article Cecilia Eriksson and Harry Burton

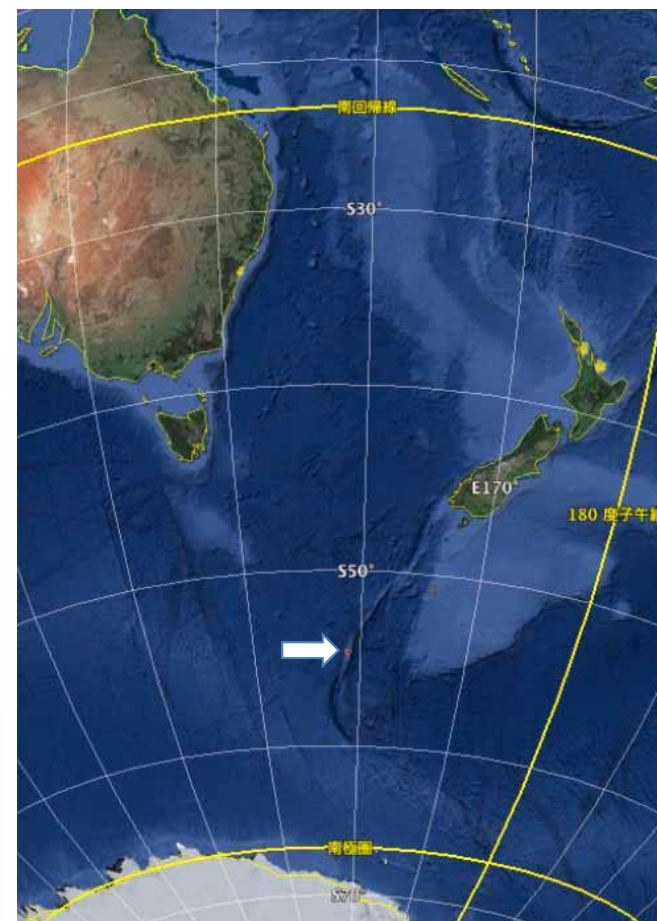
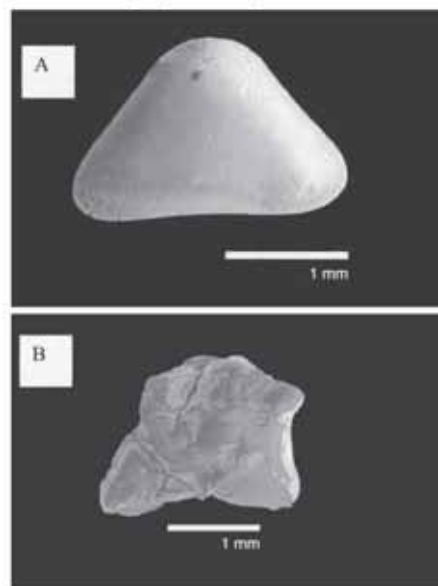
Origins and Biological Accumulation of Small Plastic Particles in Fur Seals from Macquarie Island

Macquarie Island ($54^{\circ}30'S$ $158^{\circ}57'E$).



オットセイ

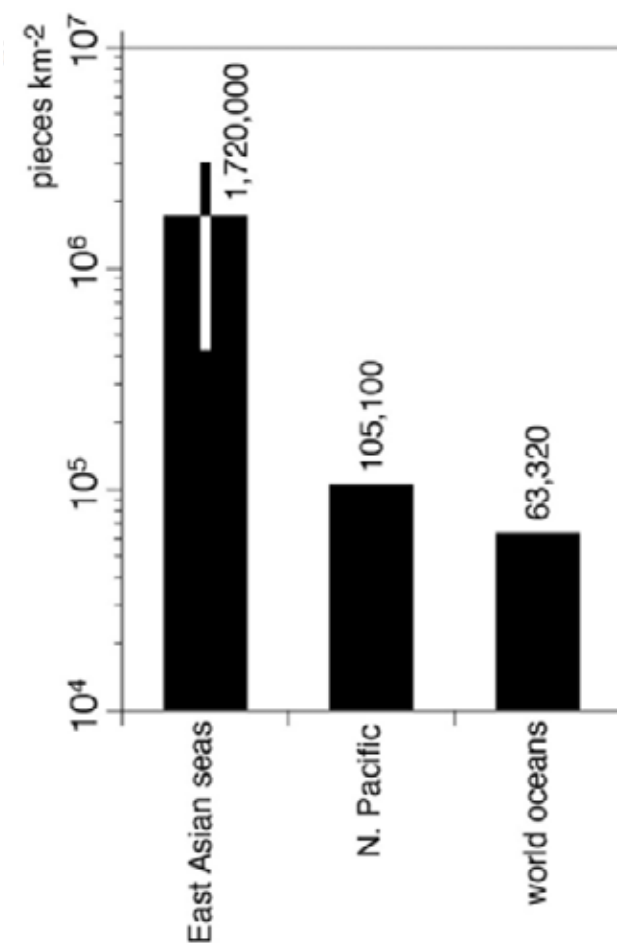
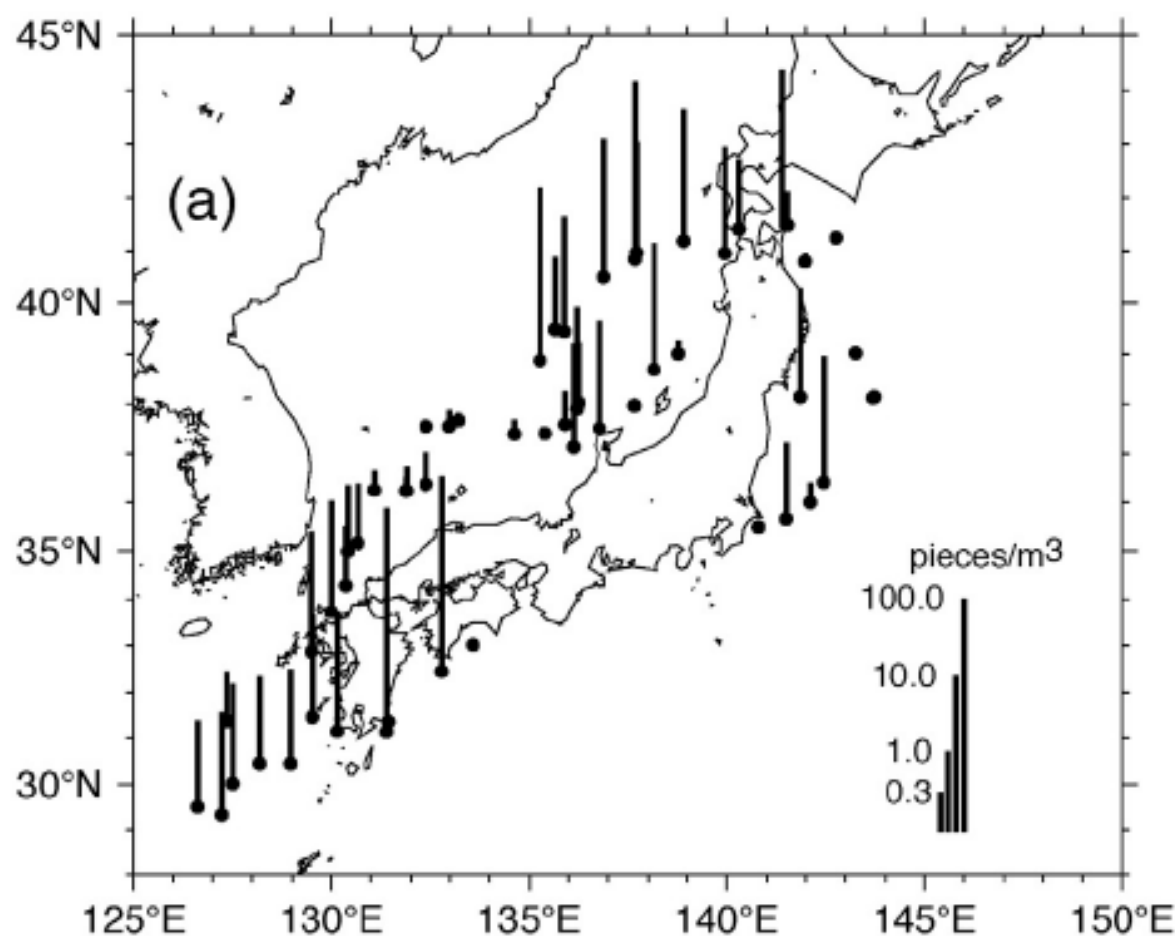
Figure 1. Electron micrograph examples of 2 classes of particle shape and wear patterns. A. Particle with rounded edges and striations. B. Particle with sharp edges and cleavage lines.



日本近海にも大量のプラスチックが漂流している

East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics

Atsuhiko Isobe ^{a,*}, Keiichi Uchida ^b, Tadashi Tokai ^b, Shinsuke Iwasaki ^a



たくさん使えば、プラゴミもたくさん出る



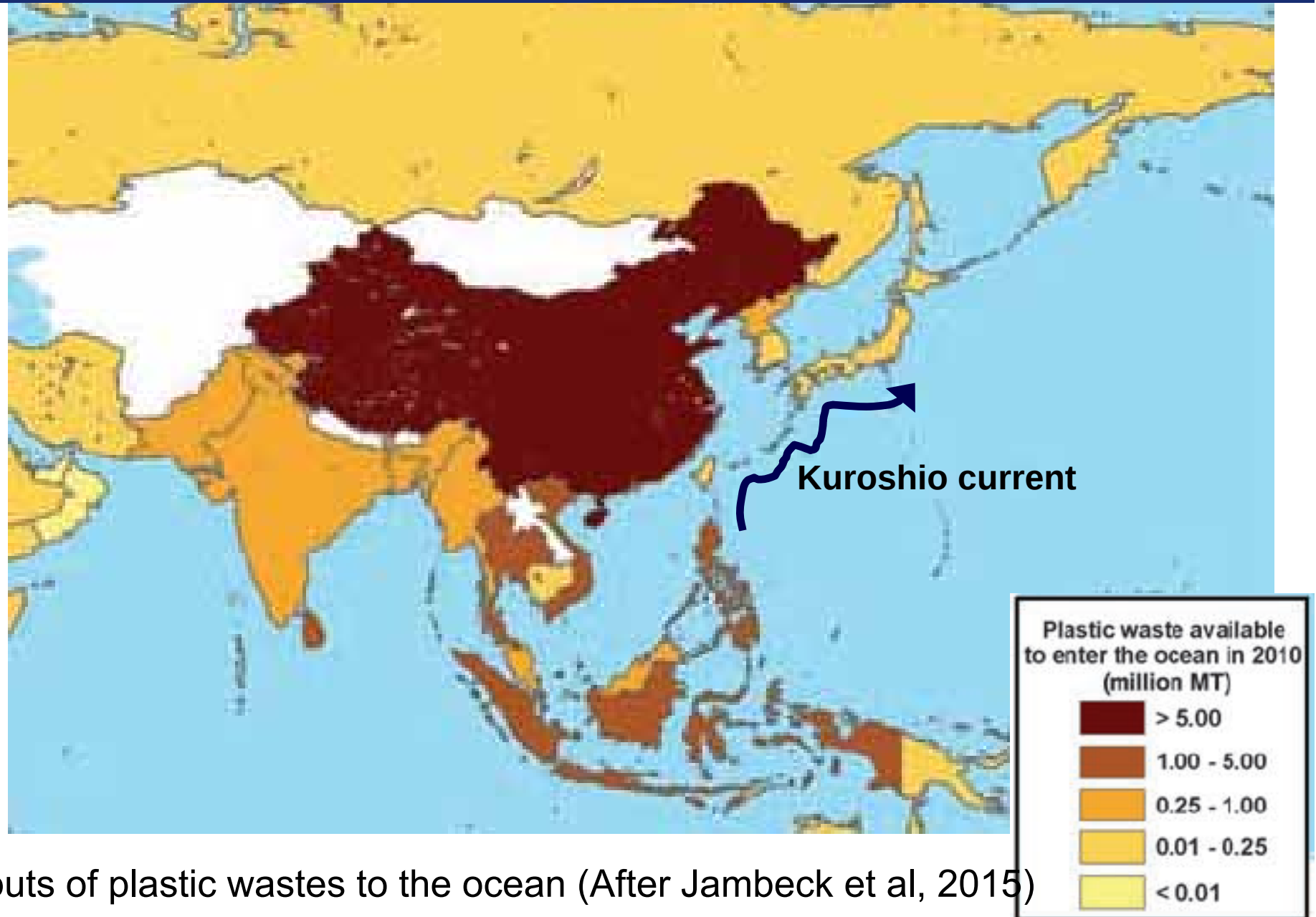
東京、荒川

たくさん使えば、プラゴミもたくさん出る



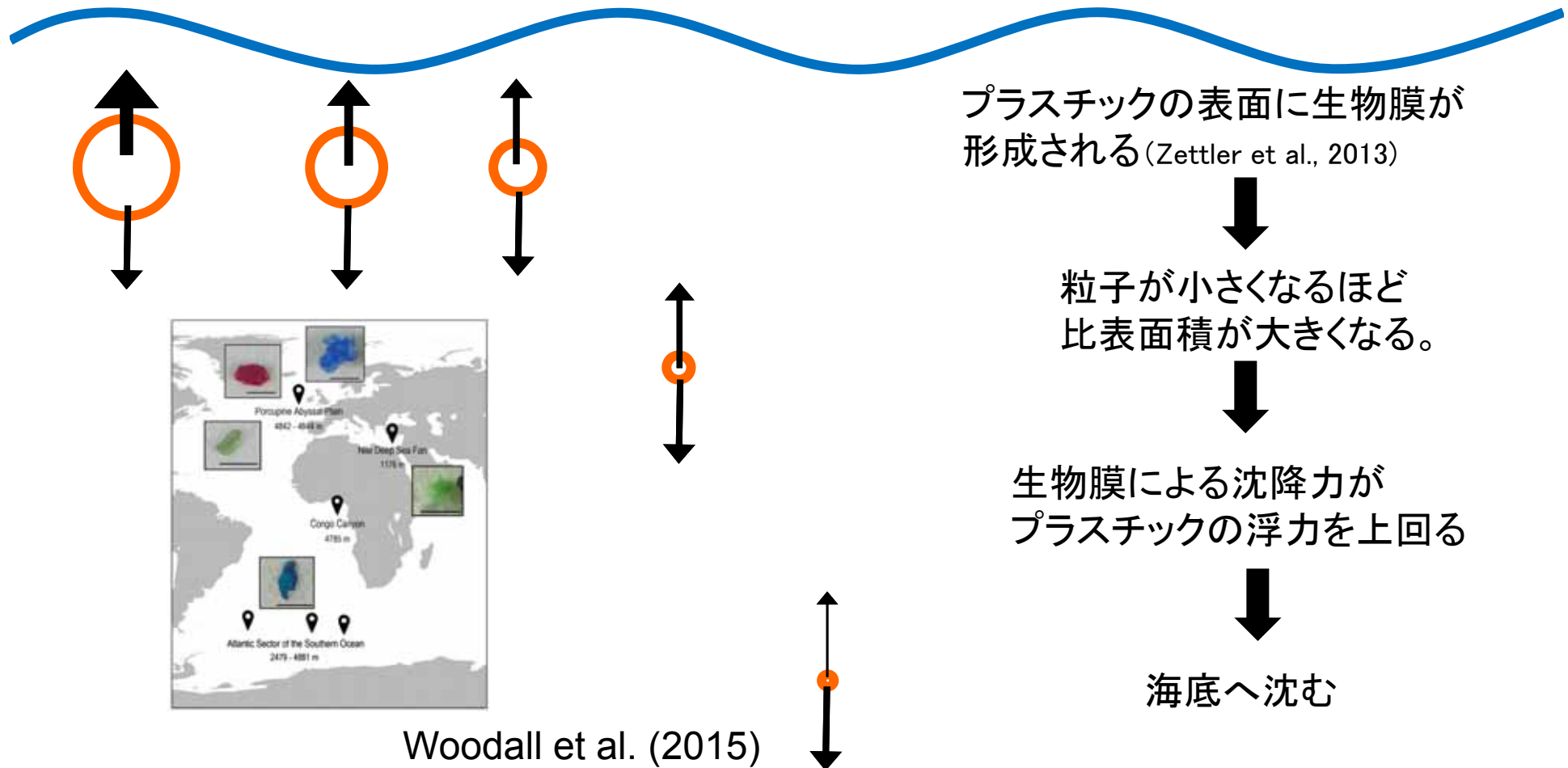
東京、荒川

Large amounts of plastics are introduced to the ocean in tropical Asia and could be transported to north Pacific by sea current



Inputs of plastic wastes to the ocean (After Jambeck et al, 2015)

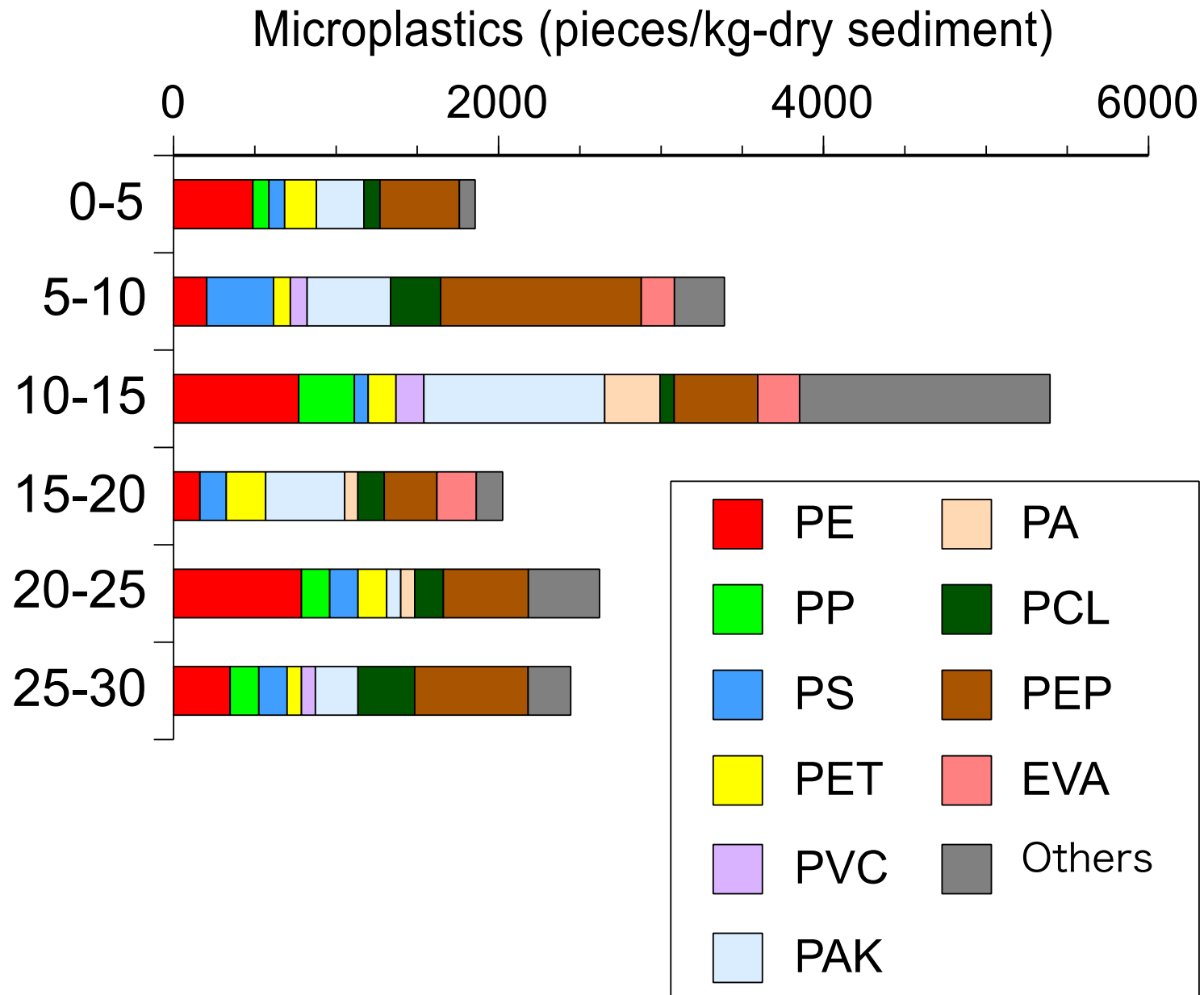
微細なマイクロプラスチックは生物膜の付着により沈降する



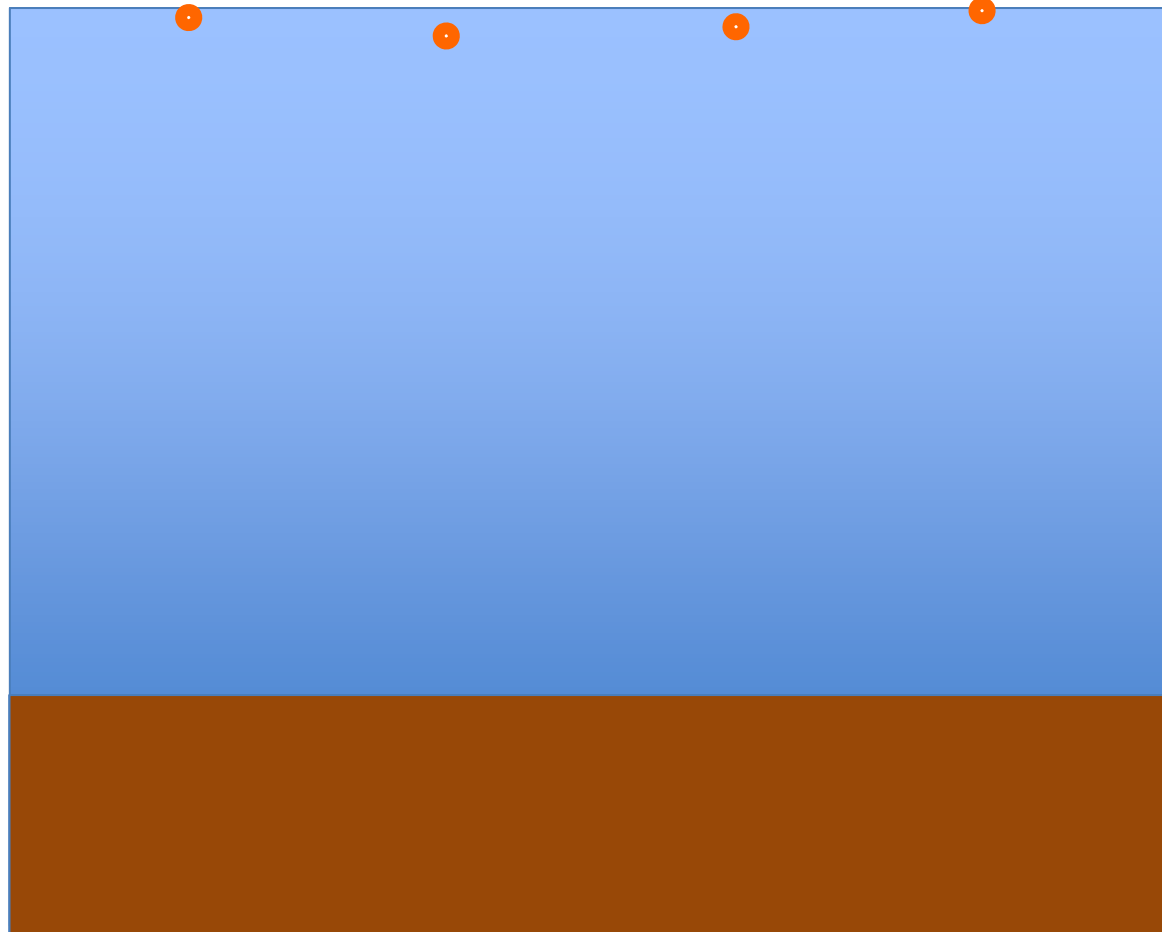


東京湾の海底の泥からもポリエチレンやペットのマイクロプラスチックが検出される

Tokyo Bay Canal Cn.21



堆積物がマイクロプラスチックの大きなsinkになっている可能性



~ 0.5 個/ m^2

$\sim 1 \times 10^6$ 個/ m^2

マイクロプラスチックはいろいろな起源から供給される

5 mm以下のプラスチック

- プラスチック製品の破片
- 化学繊維
- レジンペレット
- マイクロビーズ(スクラブ)
- メラミンフォームスポンジ

大きなゴミの脇には大量のマイクロプラスチック



Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks

Mark Anthony Browne,^{*,†,‡,§} Phillip Crump,[¶] Stewart J. Niven,^{§,||} Emma Teuten,[§] Andrew Tonkin,[¶] Tamara Galloway,[⊥] and Richard Thompson[§]

[†]School of Biology & Environmental Sciences, University College Dublin, Science Centre West, Belfield, Dublin 4, Ireland

[‡]Centre for Research on the Ecological Impacts of Coastal Cities, A11 School of Biological Sciences, University of Sydney, NSW 2006, Australia

[§]Marine Biology & Ecology Research Group, School of Marine Science & Engineering, University of Plymouth, Plymouth PL4 8AA, United Kingdom

[¶]School of Geography, Earth & Environmental Sciences, University of Plymouth, Plymouth PL4 8AA, United Kingdom

^{||}Waters Canada, On

[⊥]School of Bioscienc

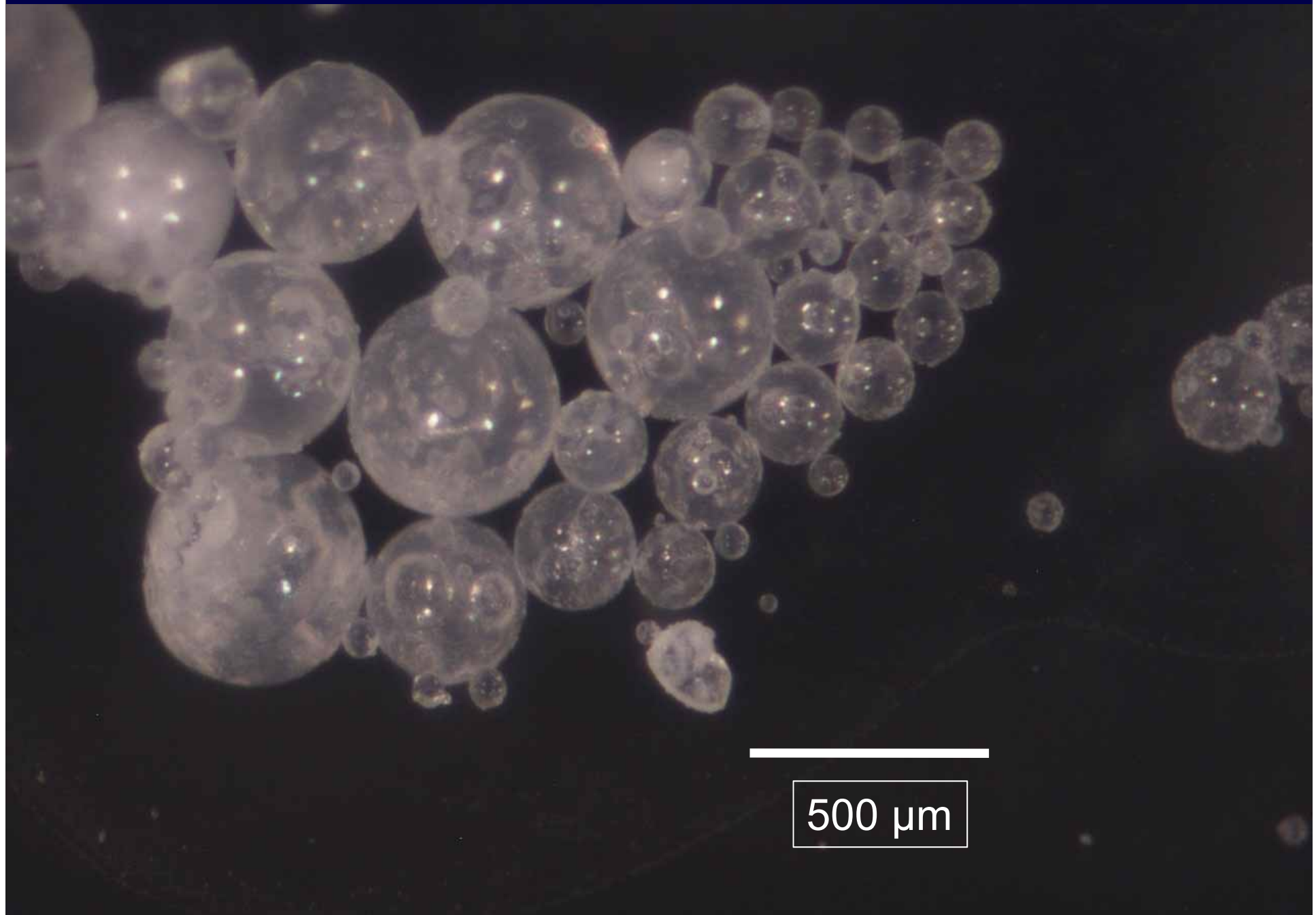
1回1着の洗濯で約2000本の細かな繊維が放出

dom

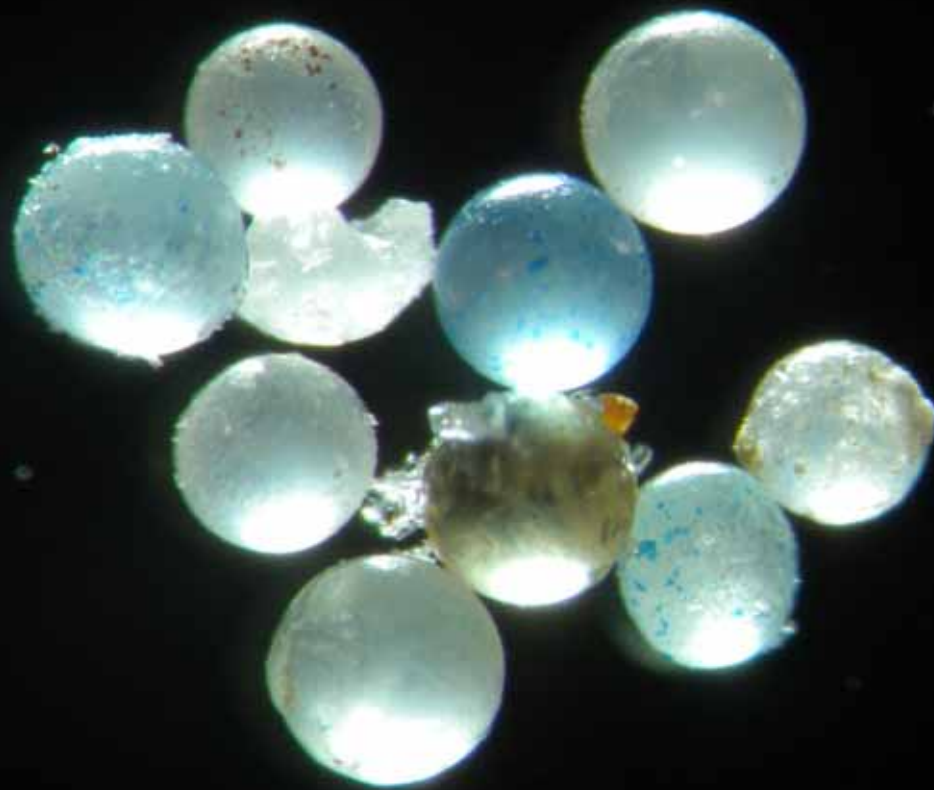
ABSTRACT: Plastic debris <1 mm (defined here as microplastic) is accumulating in marine habitats. Ingestion of microplastic provides a potential pathway for the transfer of pollutants, monomers, and plastic-additives to organisms with uncertain consequences for their health. Here, we show that microplastic contaminates the shorelines at 18 sites worldwide representing six continents from the poles to the equator, with more material in densely populated areas, but no clear relationship between the abundance of microplastics and the mean size-distribution of natural particulates. An important source of microplastic appears to be through sewage contaminated by fibers from washing clothes. Forensic evaluation of microplastic from sediments showed that the proportions of polyester and acrylic fibers used in clothing resembled those found in habitats that receive sewage-discharges and sewage-effluent itself. Experiments sampling wastewater from domestic washing machines demonstrated that a single garment can produce >1900 fibers per wash. This suggests that a large proportion of microplastic fibers found in the marine environment may be derived from sewage as a consequence of washing of clothes. As the human population grows and people use more synthetic textiles, contamination of habitats and animals by microplastic is likely to increase.



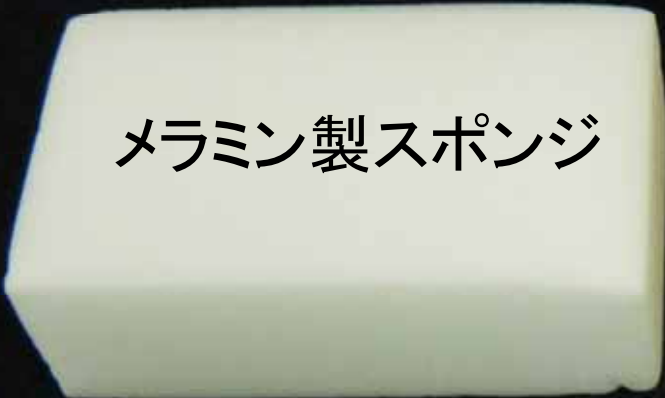
洗顔料中のマイクロビーズ



東京湾海水中から検出されたマイクロビーズ



1 mm



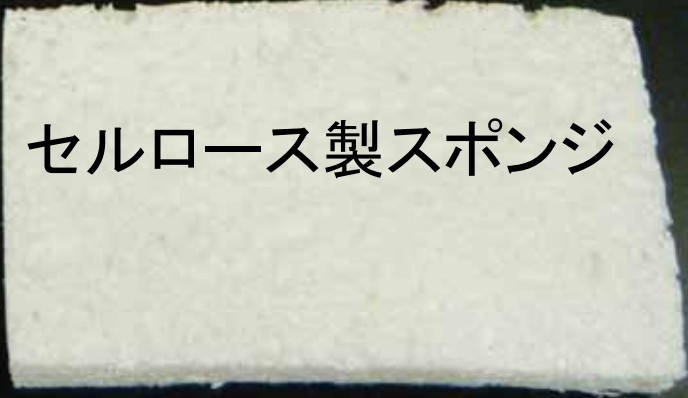
メラミン製スポンジ



ポリウレタン
スポンジ

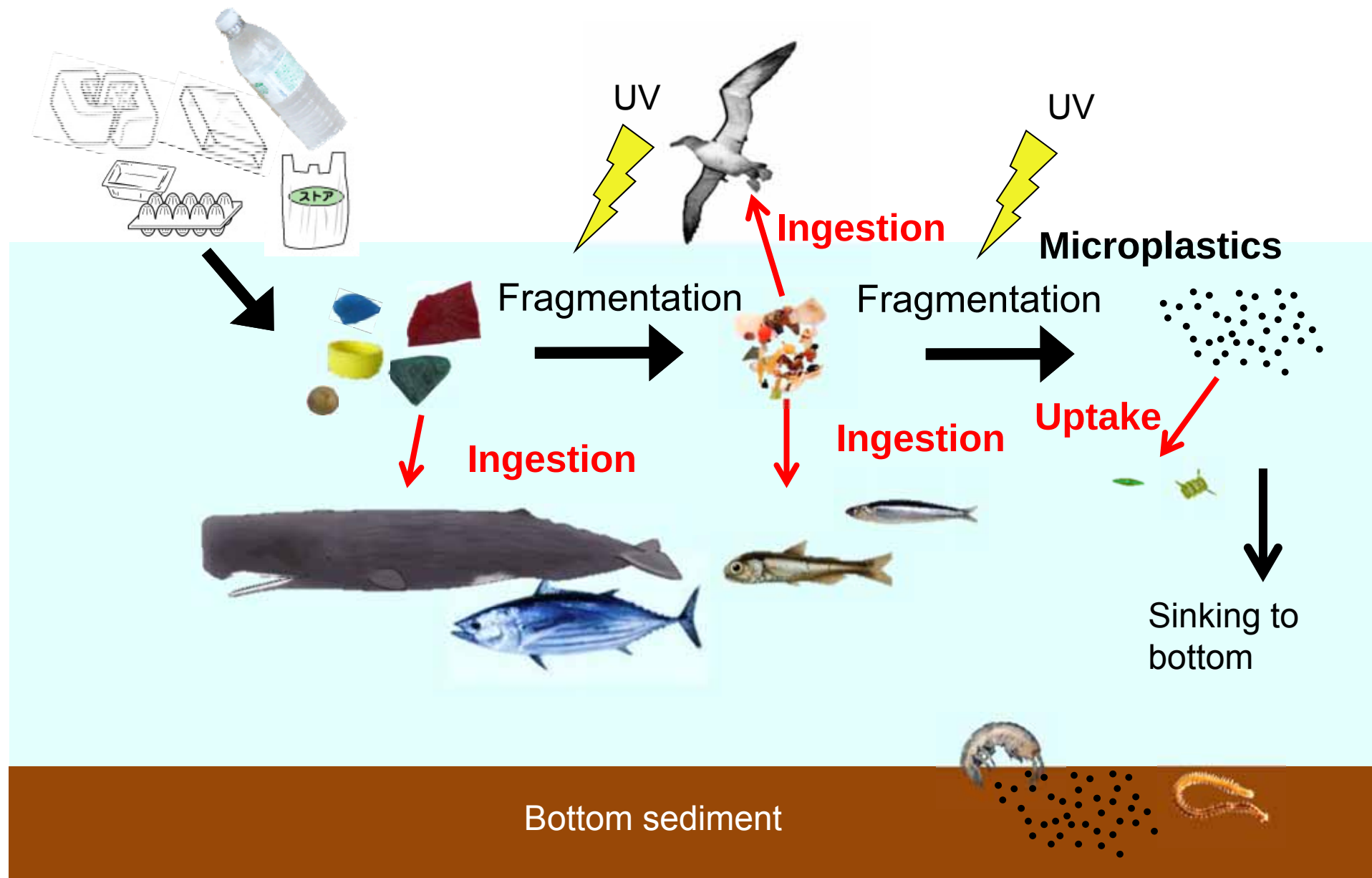


アクリル毛糸たわし



セルロース製スポンジ

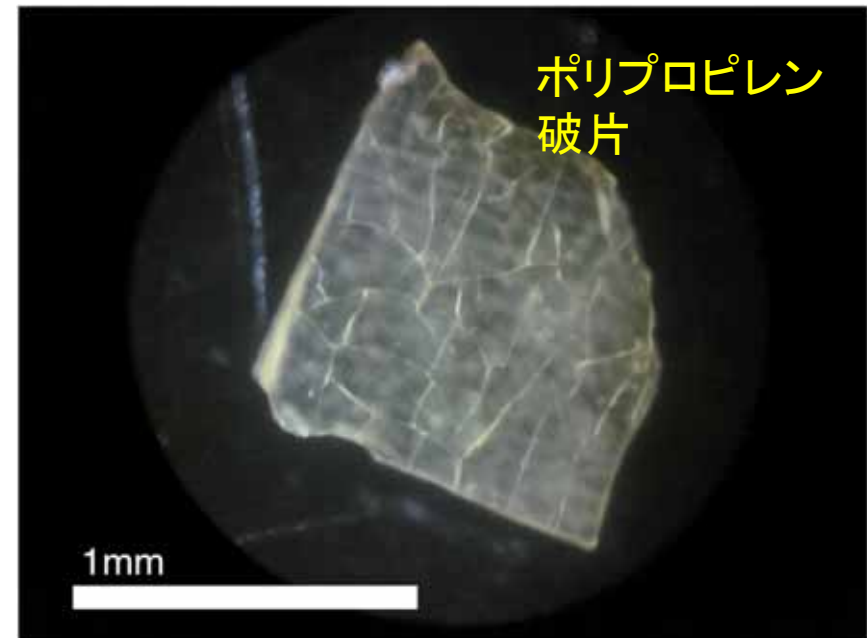
海洋におけるプラスチック汚染と生物の摂食



東京湾で釣ったカタクチイワシ64尾を分析



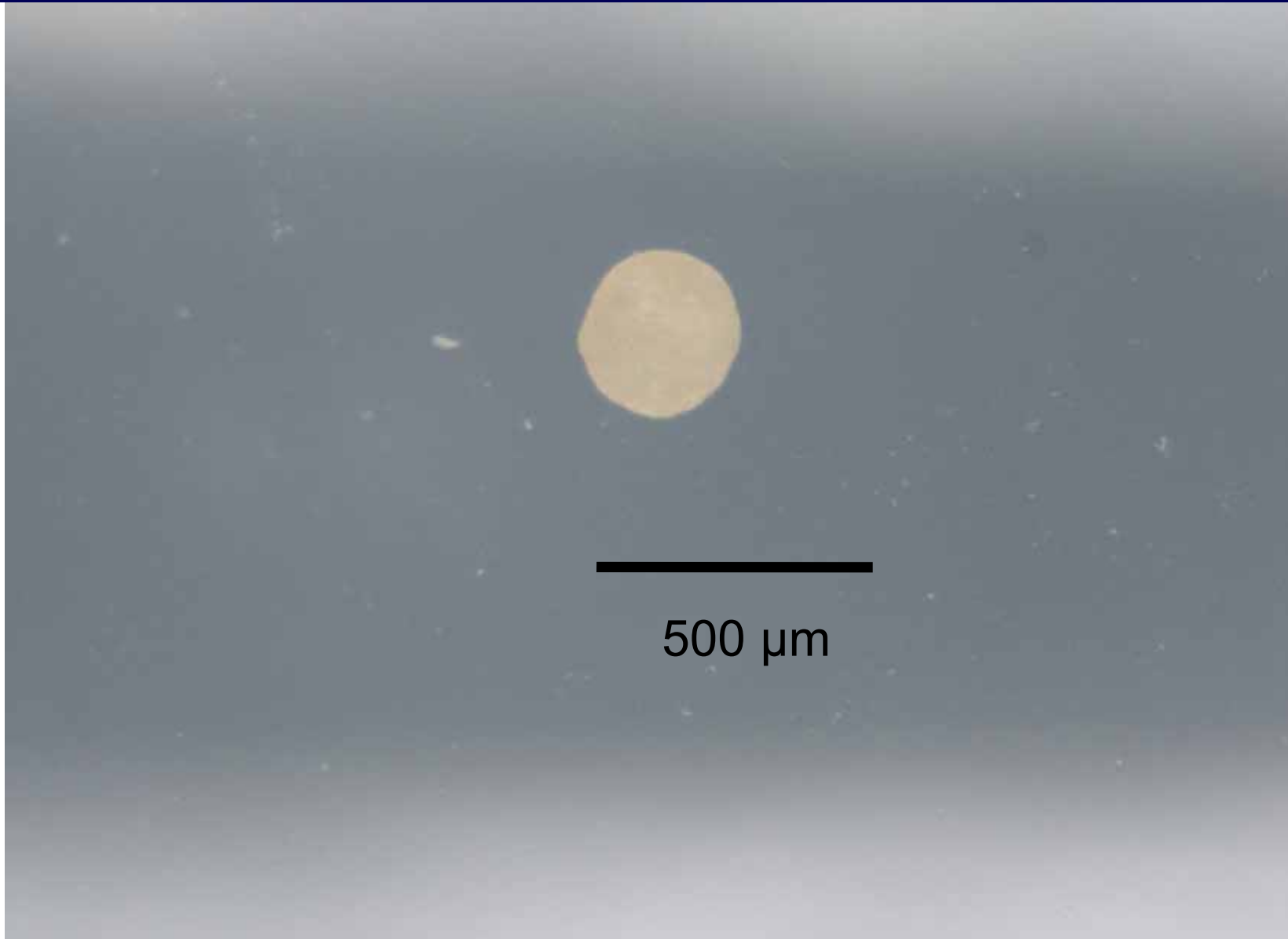
64尾中49尾からマイクロプラスチックを検出



その多くはプラスチック片

ヒトが食べてもこのサイズの
プラスチックは排泄される。

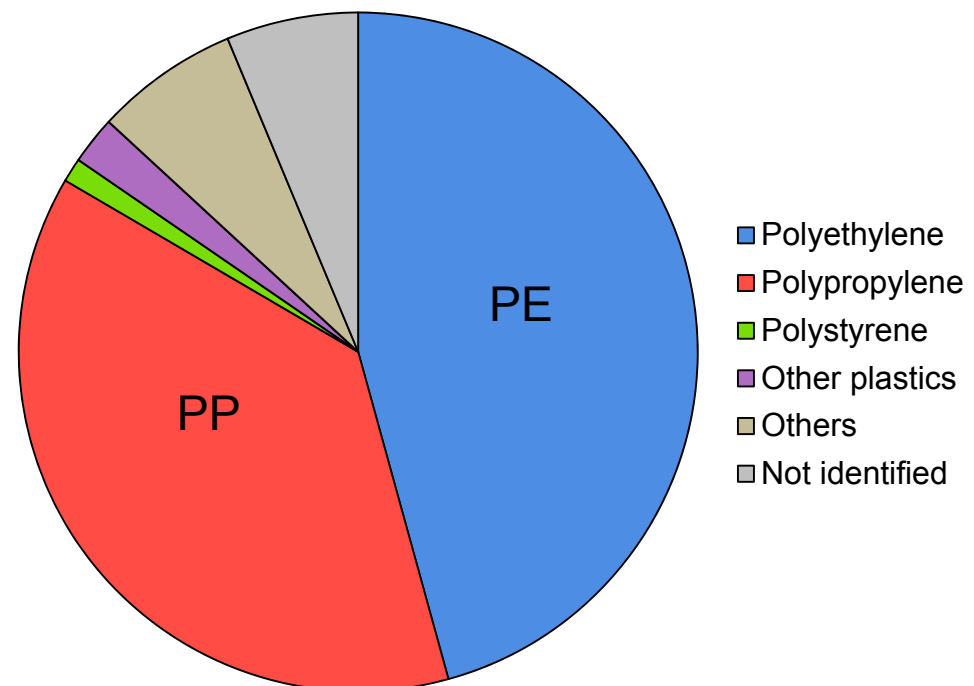
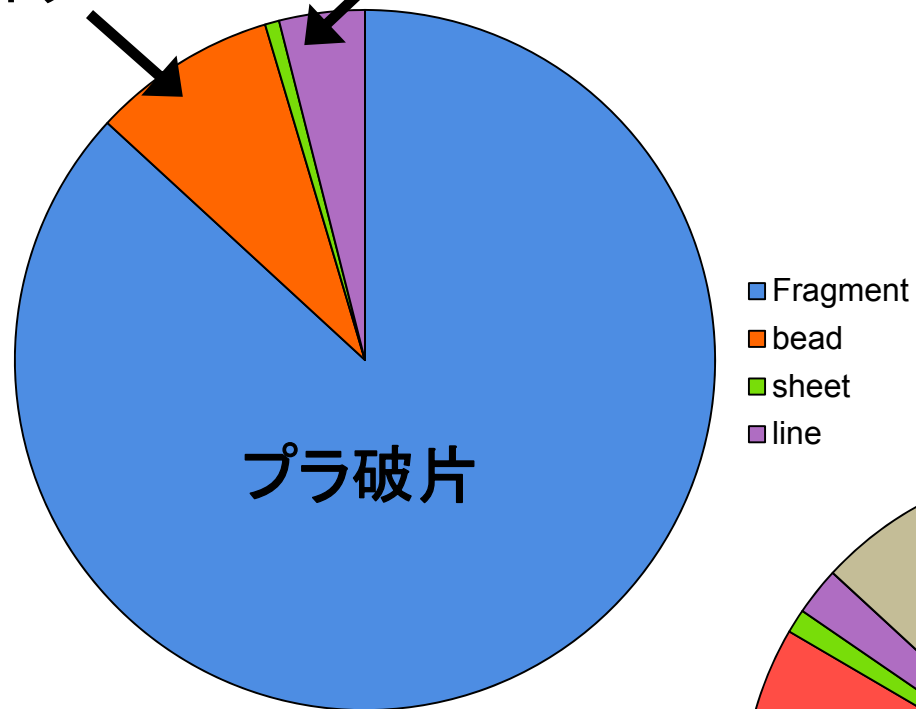
カタクチイワシからマイクロビーズを検出



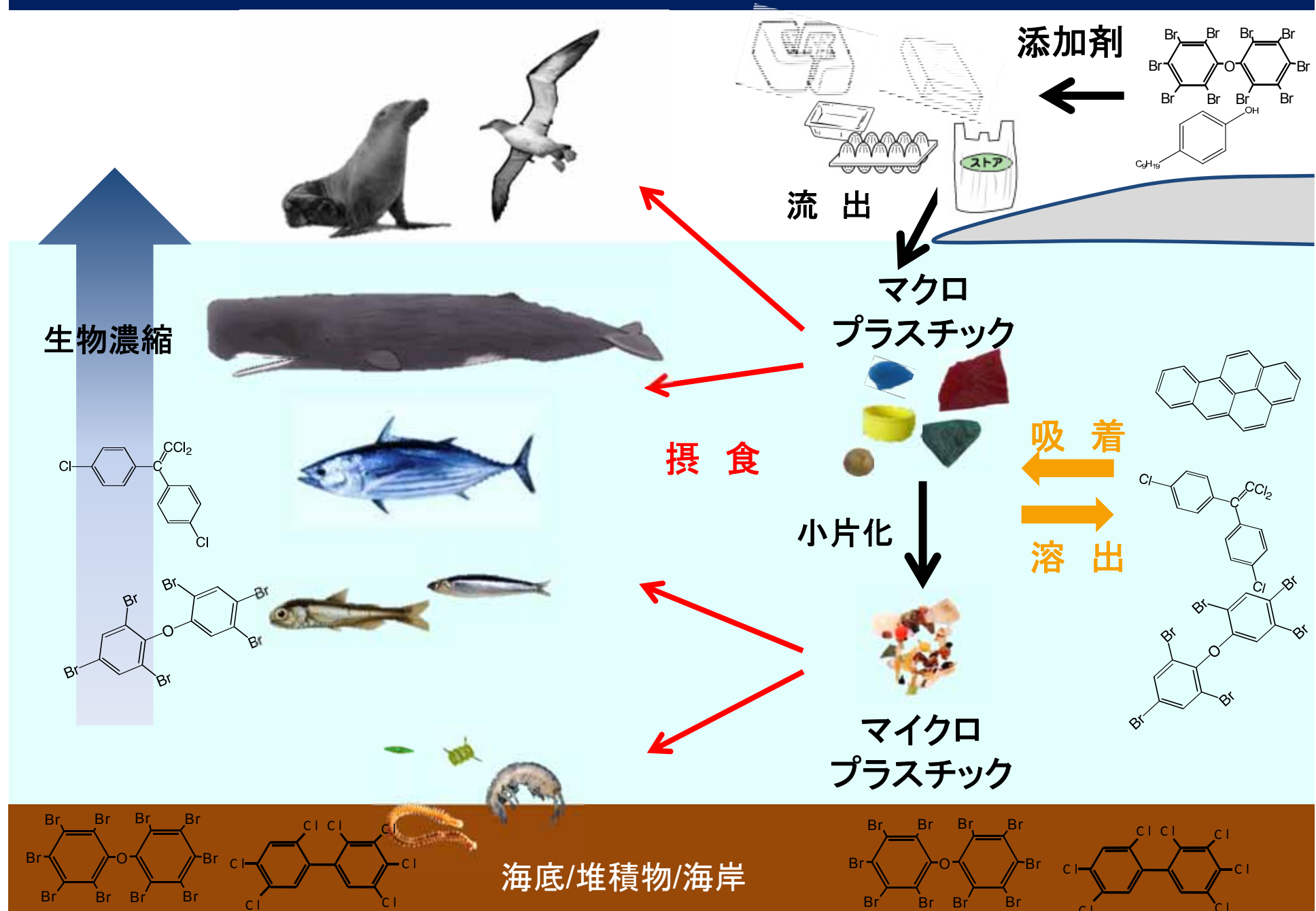
イワシから検出されたマイクロプラスチックの9割は破片

マイクロビーズ 化学繊維

1割はマイクロビーズ

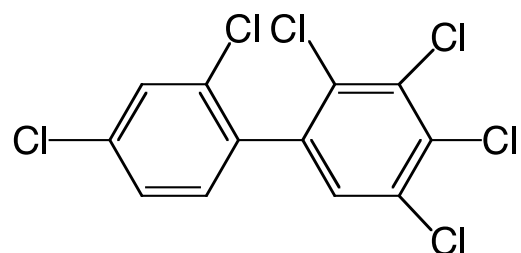


海洋におけるプラスチック汚染と化学物質の挙動

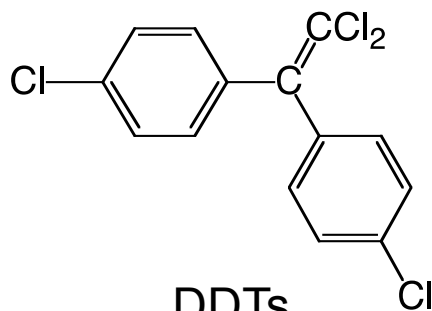


海洋プラスチックゴミは有害化学物質を生態系に運ぶ

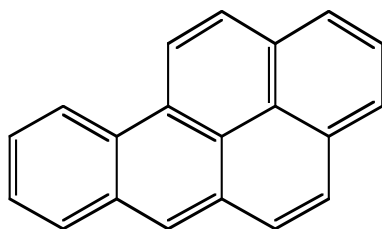
周りの海水中からの吸着



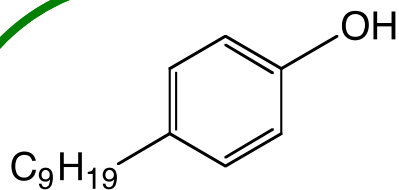
Polychlorinated biphenyl (PCBs)



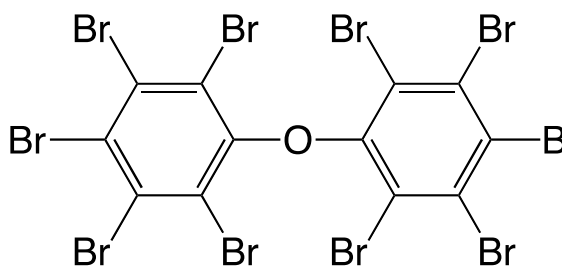
DDTs



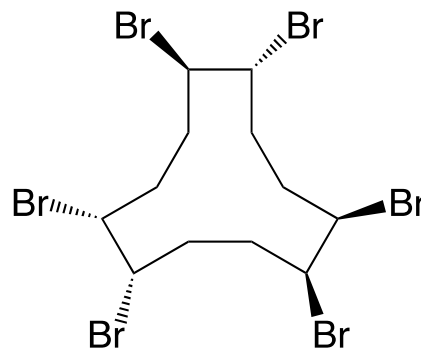
Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)



Nonylphenol

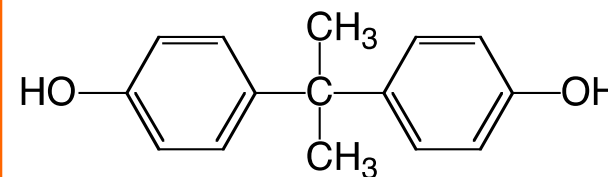


Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs)



Hexabromocyclododecanes (HBCDs)

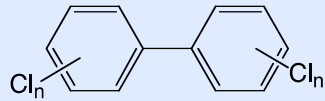
添加剤



Bisphenol A

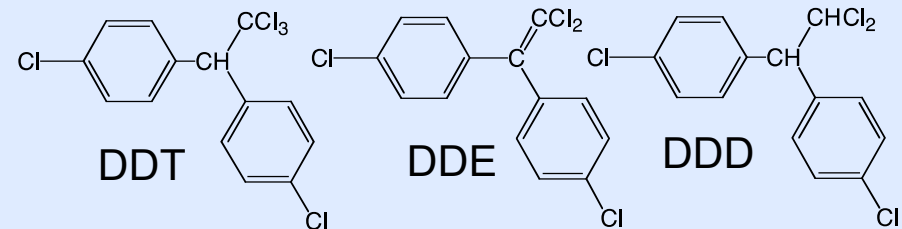
プラスチックは周辺海水中から汚染物質を吸着する =プラスチックの有害化

PCBs



- ・Industrial products for a variety of uses including dielectric fluid, heat medium, and lubricants.
- ・ Endocrine disrupting chemicals

DDTs

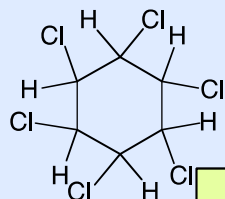


- ・DDT and its metabolites such as DDE and DDD.
- ・DDT was used as insecticides
- ・Endocrine disrupting chemicals

周辺海水中から吸着

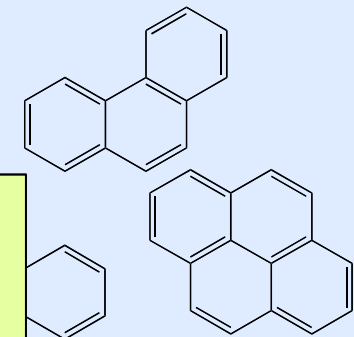
プラスチック

HCH



- ・Insecticide

PAHs



プラスチック中の汚染物質濃度は
周辺海水中の十万倍～百万倍

インターナショナルペレットウォッチ: 海岸漂着プラスチックを用いた有害化学物質モニタリング



インターネットや雑誌で
世界の人にペレットの採
取と送付を呼びかける

東京農工大学 環境資源科学科 水環境保全学研究室

海岸のプラスチックゴミの中にレジンペレットがある

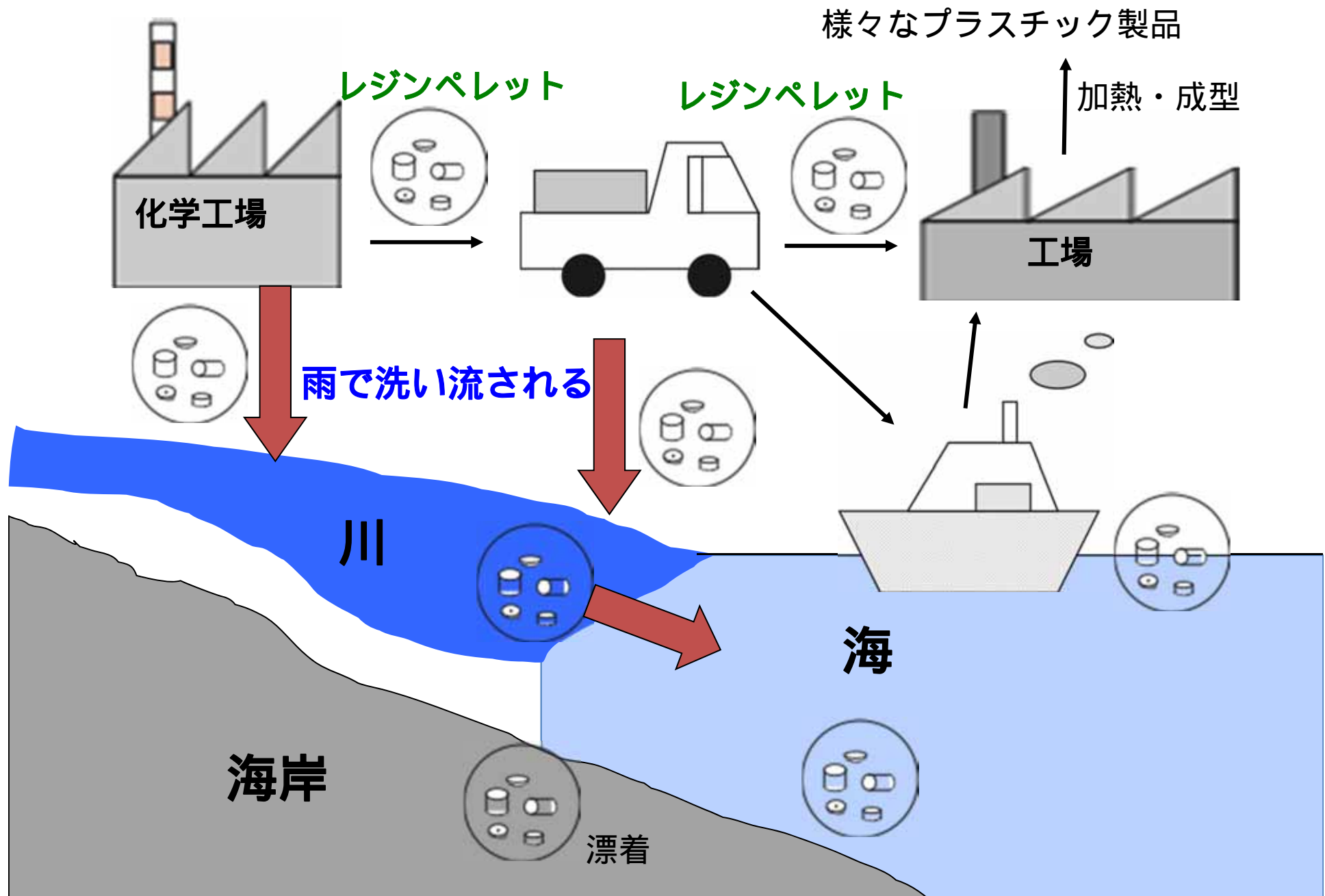


Sakumono Beach, Ghana

プラスチックレジンペレット： プラスチック製品の間接材料



レジンペレットとは？何故海岸に漂着しているのか？



世界中からマイクロプラスチックが届く



マイクロプラスチック中の有害化学物質を分析する



化学分析



海の汚染が
わかる



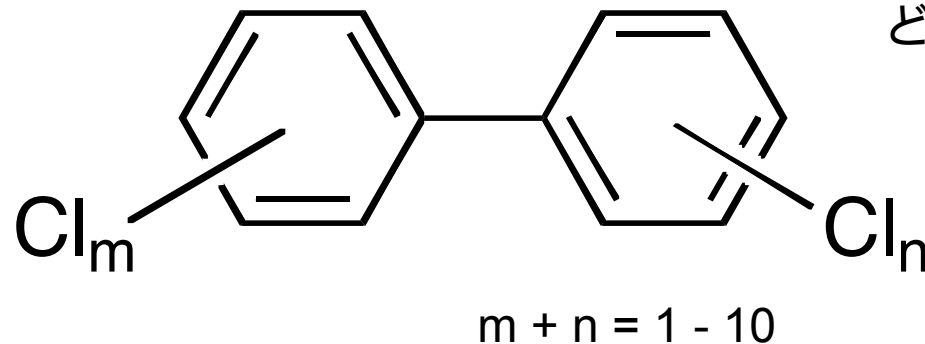
マイクロプラスチック
の危険性がわかる

•結果は採取者にメールでお知らせする。

•汚染マップはwebで公開する

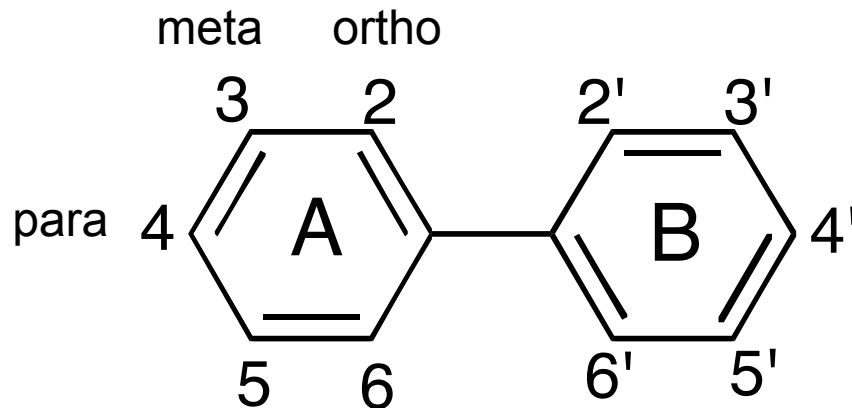
<http://www.pelletwatch.org/>

ポリ塩化ビフェニル(PCBs)



トランス、コンデンサー、熱媒体など様々な工業用途で使用された。

1960年代に使われ、
1970年代初頭に使用禁止



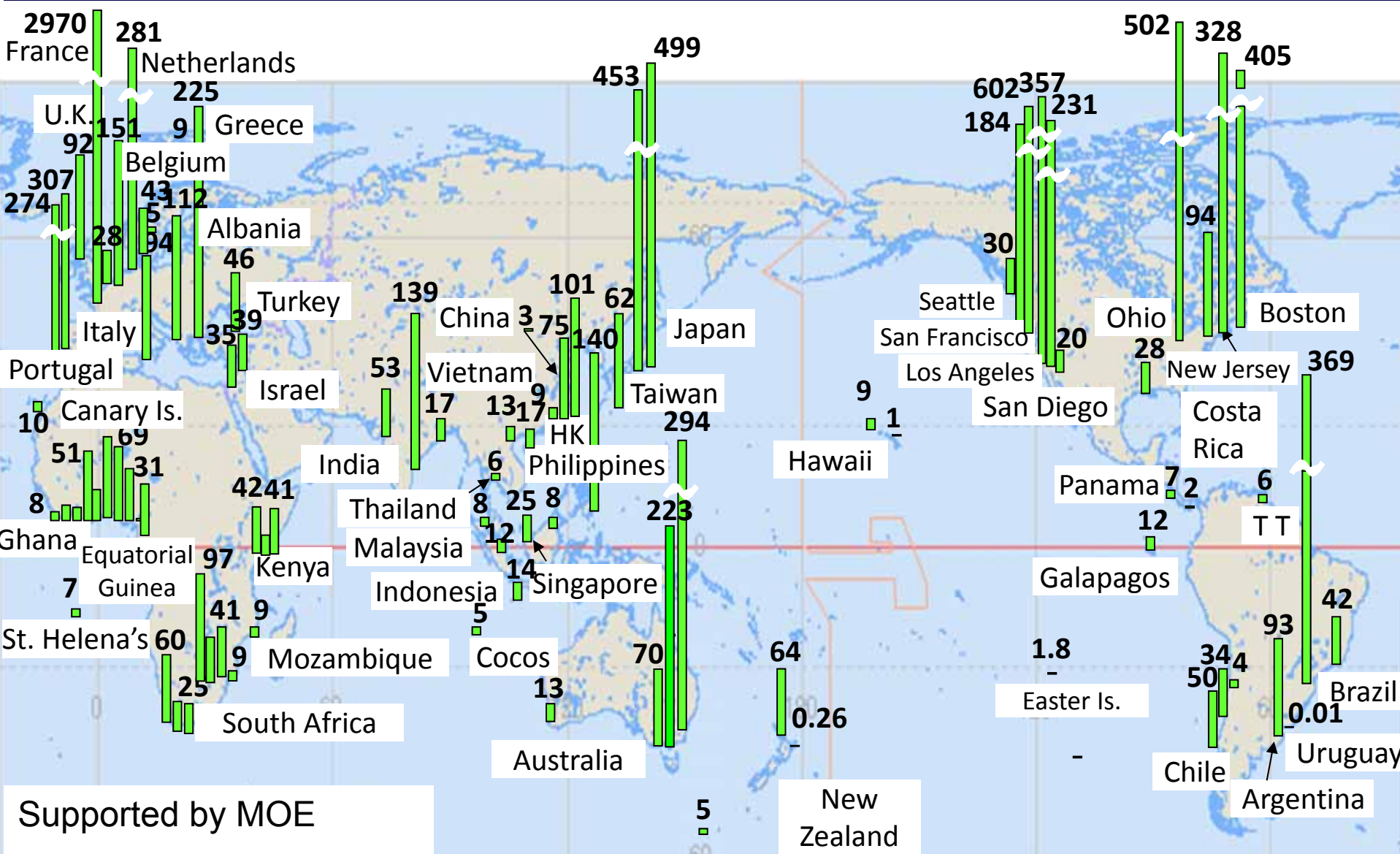
カネミ油症

奇形、発ガン

免疫力の低下

脳神経系に影響

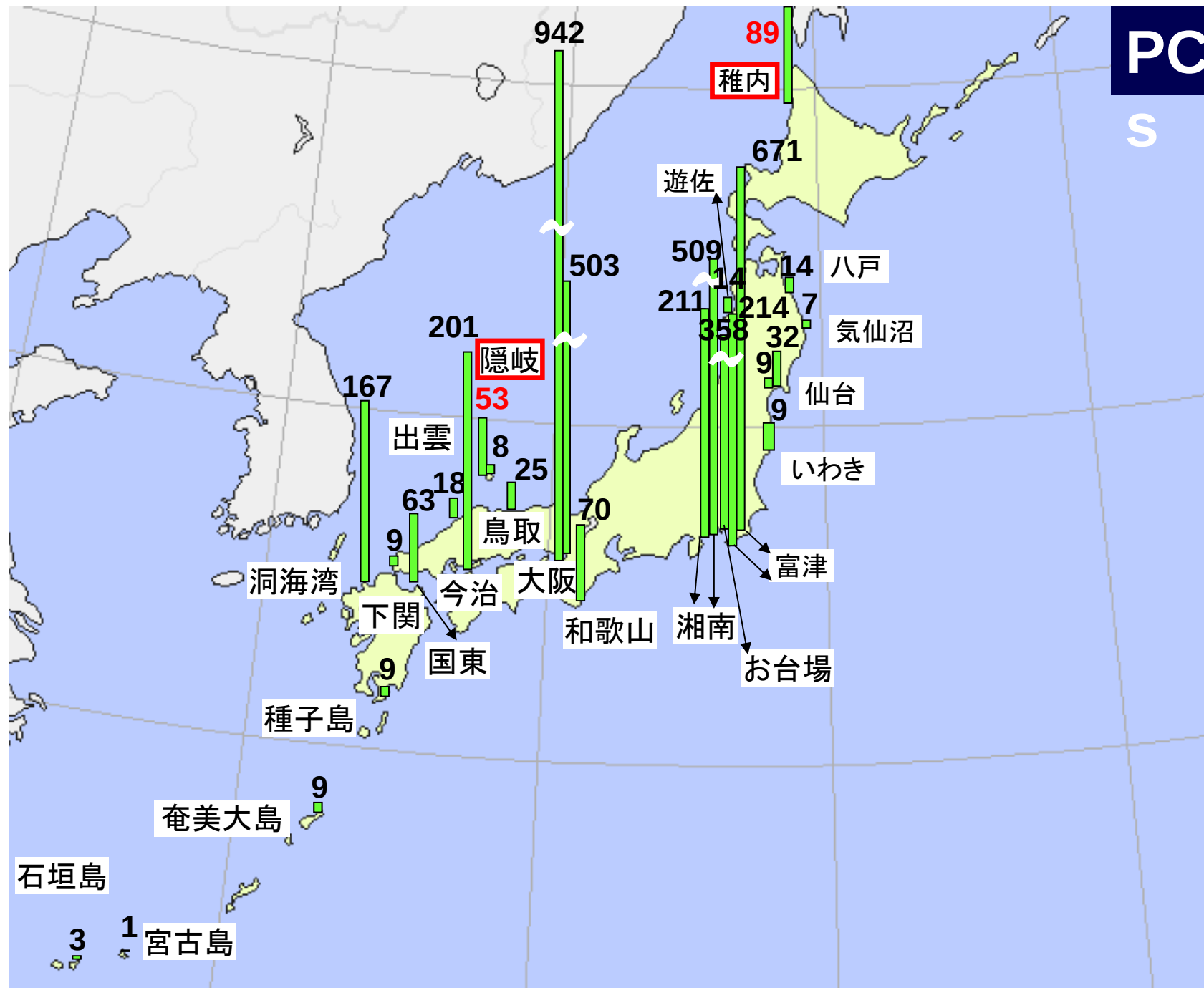
プラスチックの有害化は世界中で起こっている



海岸漂着プラスチック中のPCBs濃度(ng/g)

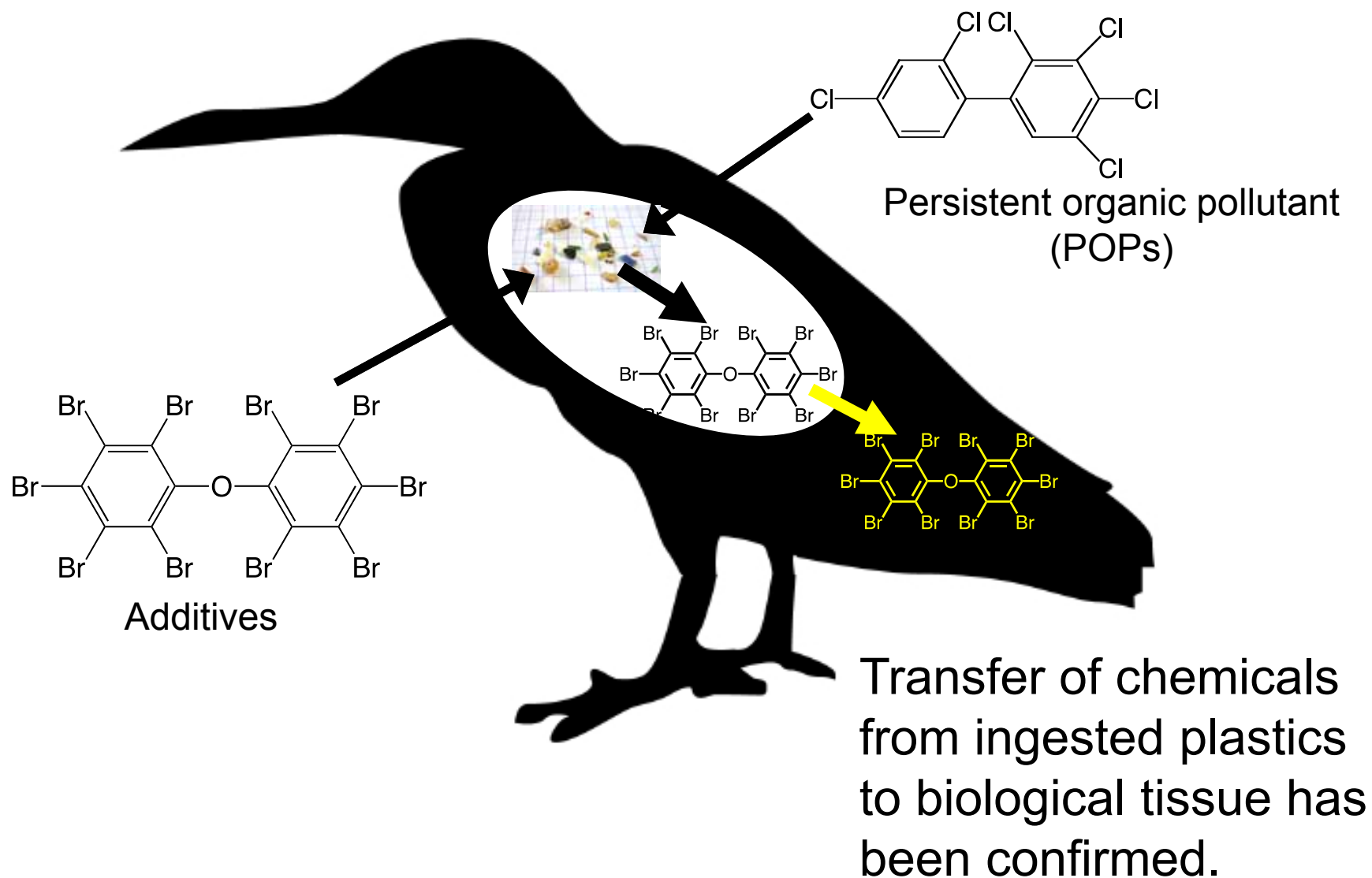
PCB

S



海岸漂着レジンペレット中のPCBs濃度(ng /g-pellet)

Plastics : Carrier of hazardous chemicals to biota?



Evidences of hydrophobic chemicals from ingested plastics to the tissue of organisms

ENVIRONMENTAL
Science & Technology

2016

Article

pubs.acs.org/est

Chemical Pollutants Sorbed to Ingested Microbeads from Personal Care Products Accumulate in Fish

Peter Wardrop,[†] Jeff Shimeta,[†] Dayanthi Nugegoda,[†] Paul D. Morrison,[†] Ana Miranda,[†] Min Tang,[‡] and Bradley O. Clarke^{*,†}

[†]Centre for Environmental Sustainability and Remediation, RMIT University, GPO Box 2476, Melbourne, Victoria 3001, Australia

[‡]Key Laboratory of Advanced Materials of Tropical Island Resources, Ministry of Education; School of Materials and Chemical Engineering, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China

Supporting Information

ENVIRONMENTAL
Science & Technology

2015

Facilitated Leaching of Additive-Derived PBDEs from Seabirds' Stomach Oil and Accumulation in Fish

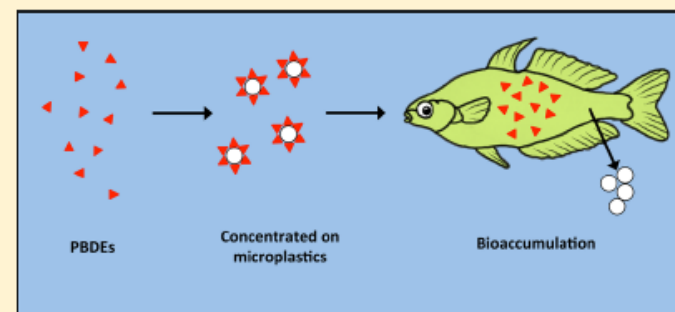
Kosuke Tanaka,[†] Hideshige Takada,^{*,†} Rei Yamashita,[†] Kaoruko Iwano,[‡] and Yutaka Watanuki[§]

[†]Laboratory of Organic Geochemistry, Tokyo University of Agriculture and Technology

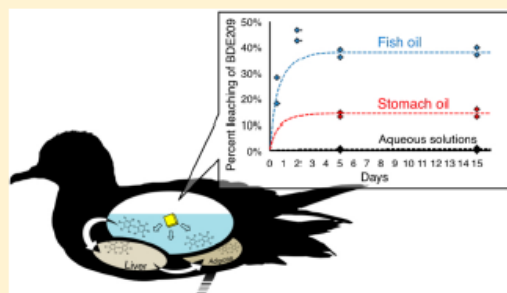
[‡]Hokkaido National Fisheries Research Institute, Fisheries Research Agency, Kushiro

[§]Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan

Supporting Information



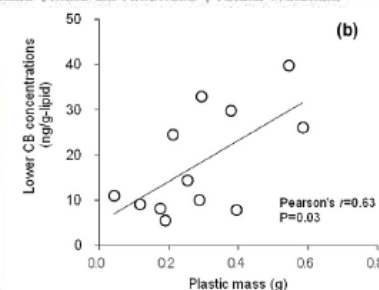
ABSTRACT: Our previous study suggested the transfer of polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants from ingested plastics to seabirds' tissues. To understand how the PBDEs are transferred, we studied leaching from plastics into digestive fluids. We hypothesized that stomach oil, which is present in the digestive tract of birds in the order Procellariiformes, acts as an organic solvent, facilitating the leaching of hydrophobic chemicals. Pieces of plastic compounded with deca-BDE were soaked in several leaching solutions. Trace amounts were leached into distilled water, seawater, and acidic pepsin solution. In contrast, over 20 times as much material was leached into stomach oil, and over 50 times as much into fish oil (a major component of stomach oil).



Physical and chemical effects of ingested plastic debris on short-tailed shearwaters, *Puffinus tenuirostris*, in the North Pacific Ocean

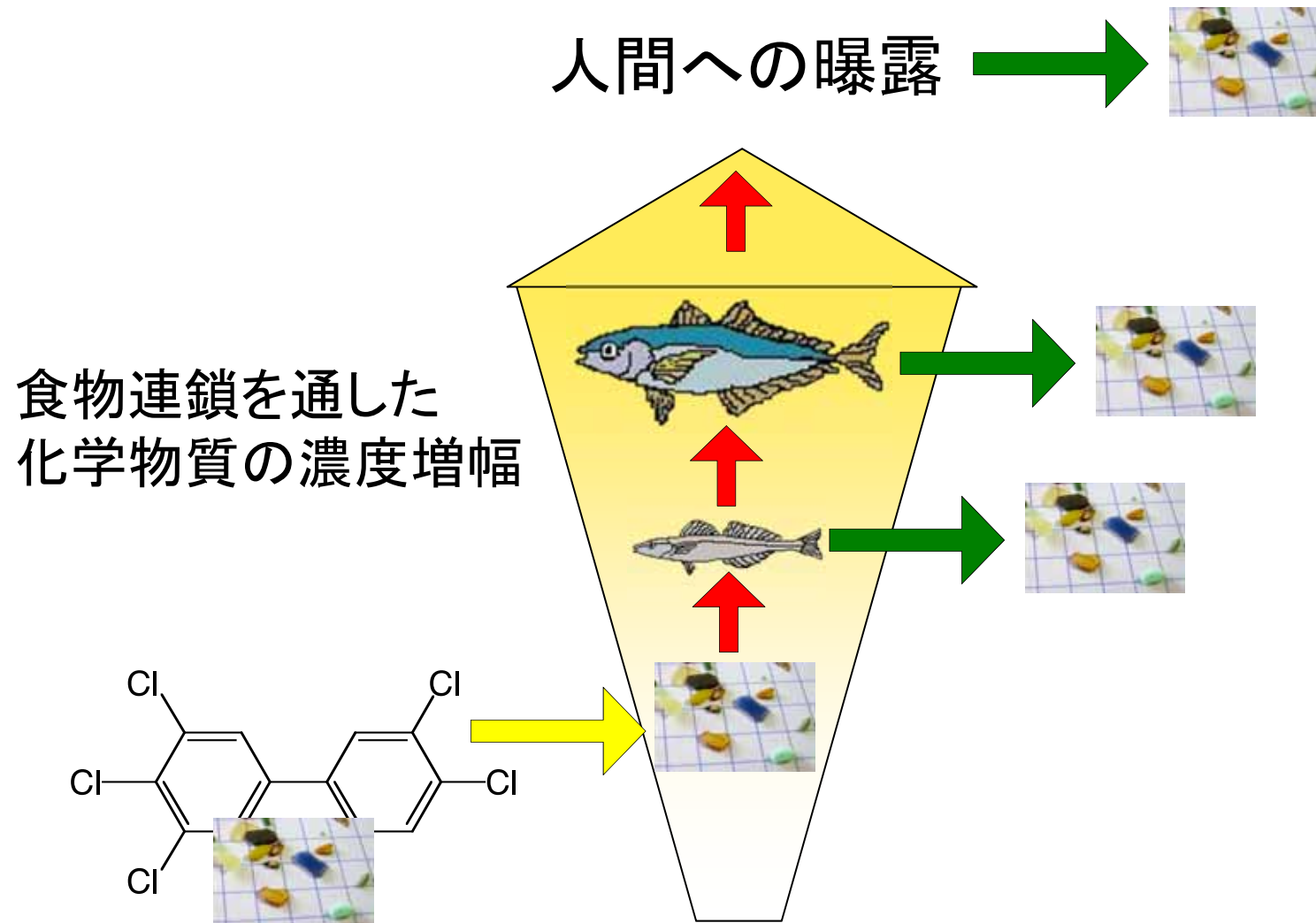
Rei Yamashita^{*,†}, Hideshige Takada[‡], Masa-aki Fukuwaka[§], Yutaka Watanuki[¶]

2011



プラスチックの大きさに応じて食物連鎖の様々な生物に摂食され、化学物質も曝露する

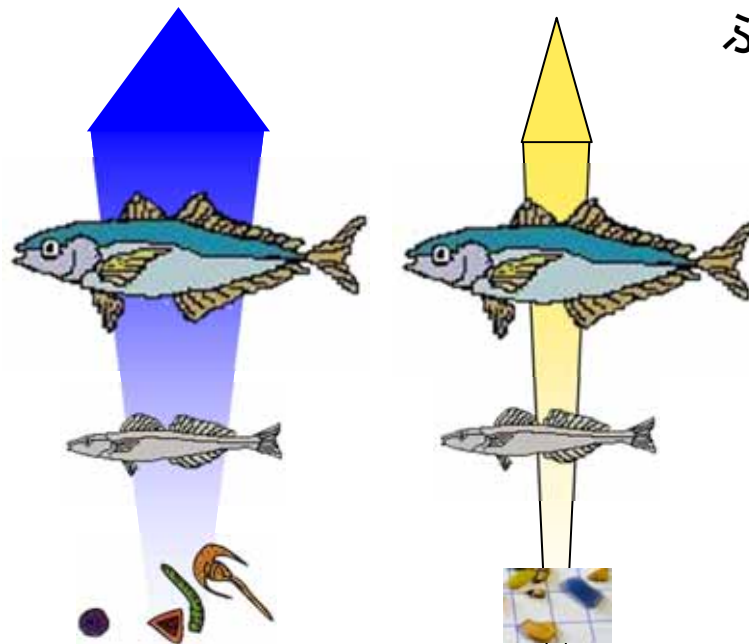
人間が魚貝類を通してプラスチックを食べても、プラスチック自体は排泄されるが、化学物質は人体に移行・蓄積する可能性がある。



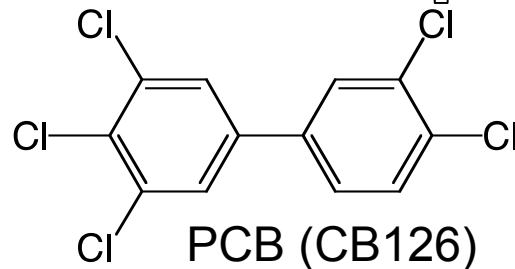
しかし、魚貝類は餌からも汚染物質に曝露されている

ヒト

プラスチック微細片はプランクトンと同じように汚染物質を濃縮し、汚染物質を食物連鎖に運ぶ。



プラスチックに濃縮された汚染物質の量が少なければ、相対的には問題が少ない。



プラスチックに含まれる化学物質による生物への影響

室内実験ではプラスチックに吸着した化学物質により、プラスチックを摂食した生物(メダカ、ゴカイ)の肝機能の障害が観測されている。またポリスチレン微粒子の曝露により、牡蠣の再生産能力が落ちたという実験や、淡水魚の孵化率が低下したという実験結果も報告されている。

Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress

Chelsea M. Rochman¹, Eunha Hoh², Tomofumi Kurobe¹ & Swee J. Teh¹

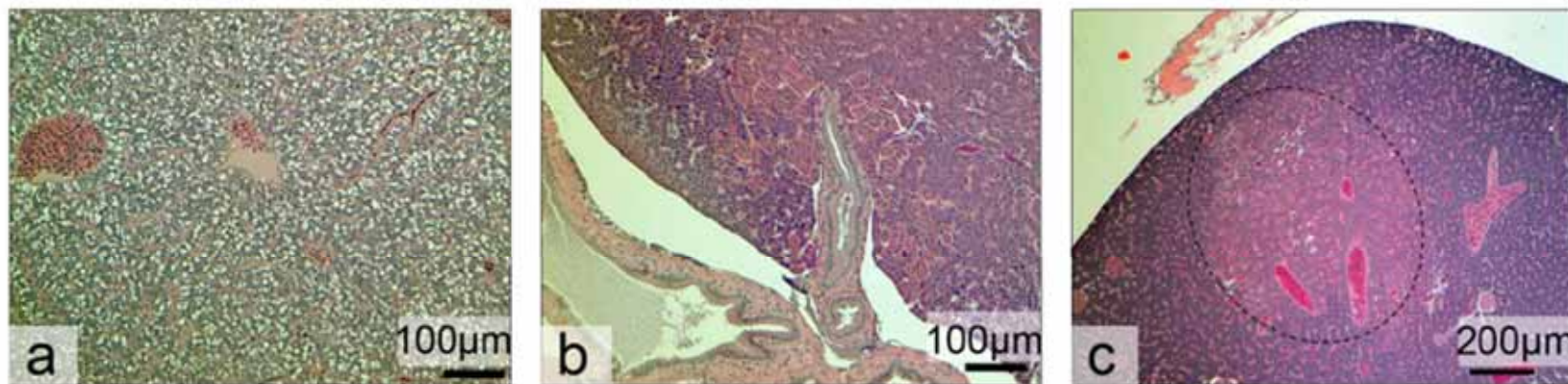
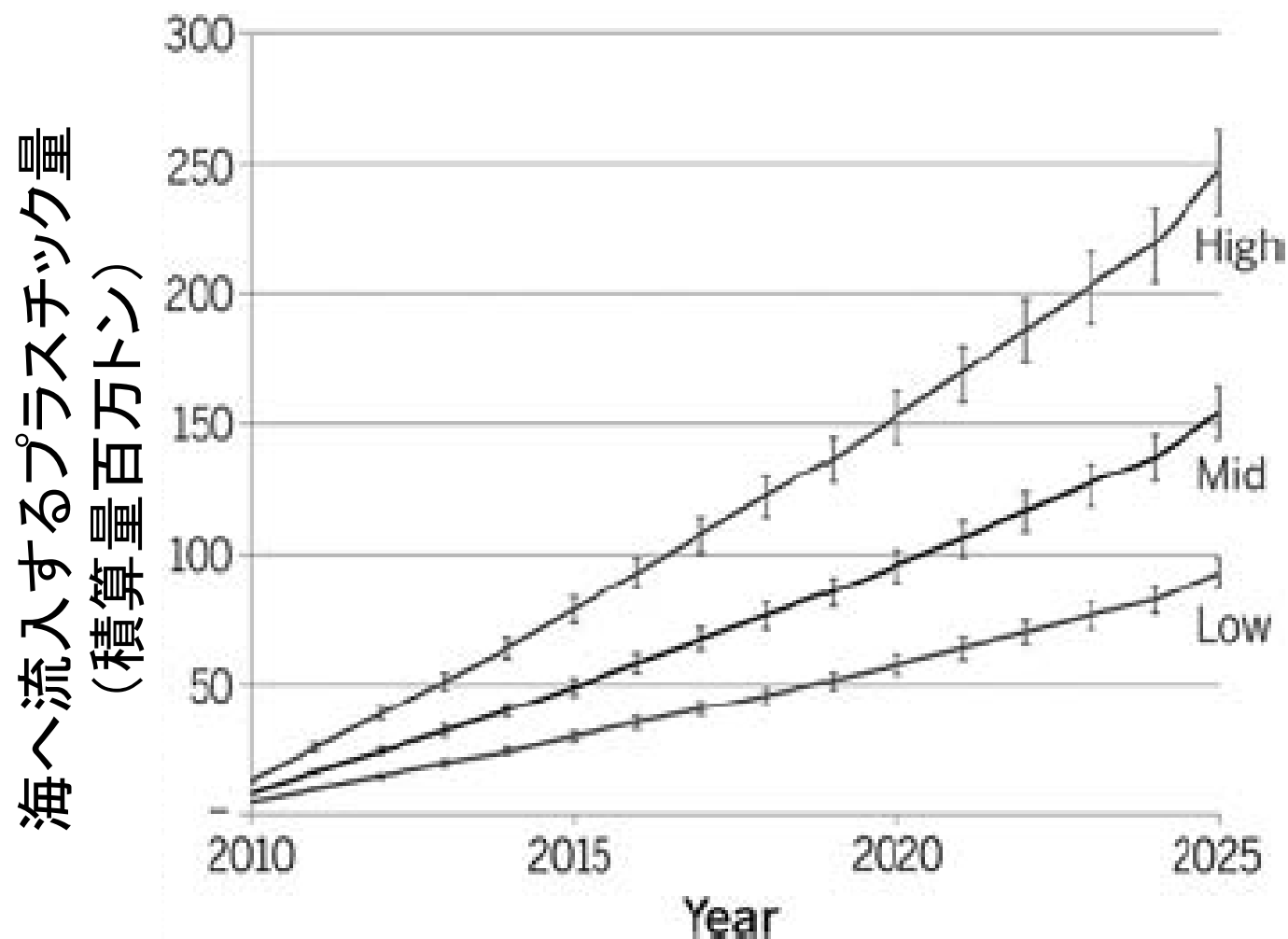


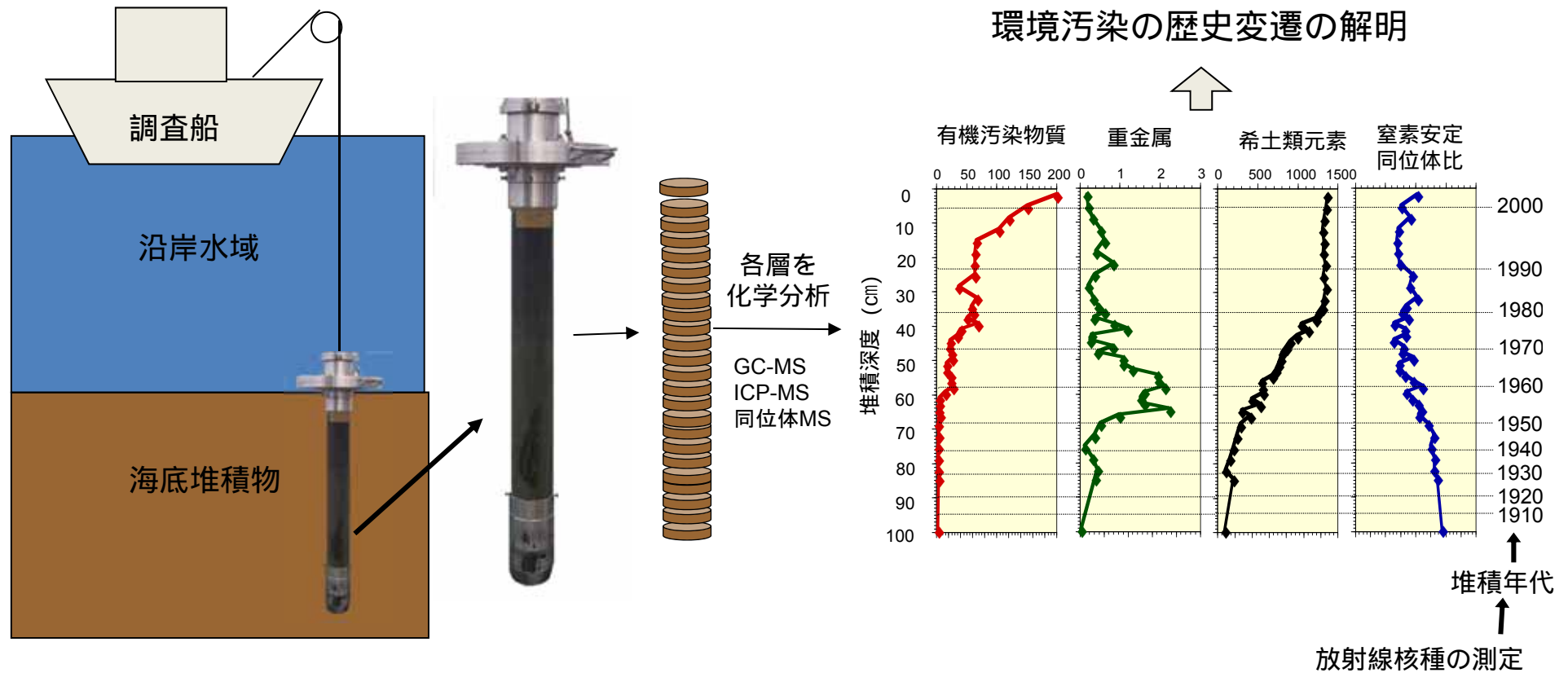
Figure 4 | Liver Histopathology in medaka sampled after 2 months. Micrographs show livers that are glycogen-rich from the control treatment (a) and glycogen-depleted from the virgin-plastic (b) and the marine-plastic treatment (c). An eosinophilic focus of cellular alteration, a precursor to a tumor, was observed in one fish from the virgin-plastic treatment (b). The circle highlights eosinophilic (pinkish coloration) hepatocytes,

何も手を打たなければ、海に流入するプラスチックの量は
20年後には10倍に増加する



Jamebeck et al. (2015), Science

柱状堆積物を用いた環境汚染史の解析手法



皇居桜田壕柱状堆積物採取地点

採取日: 2001年11月/1997年

保存方法: 凍結乾燥

2001年採取 PCBsにより

1997年採取 放射性核種により年代を測定



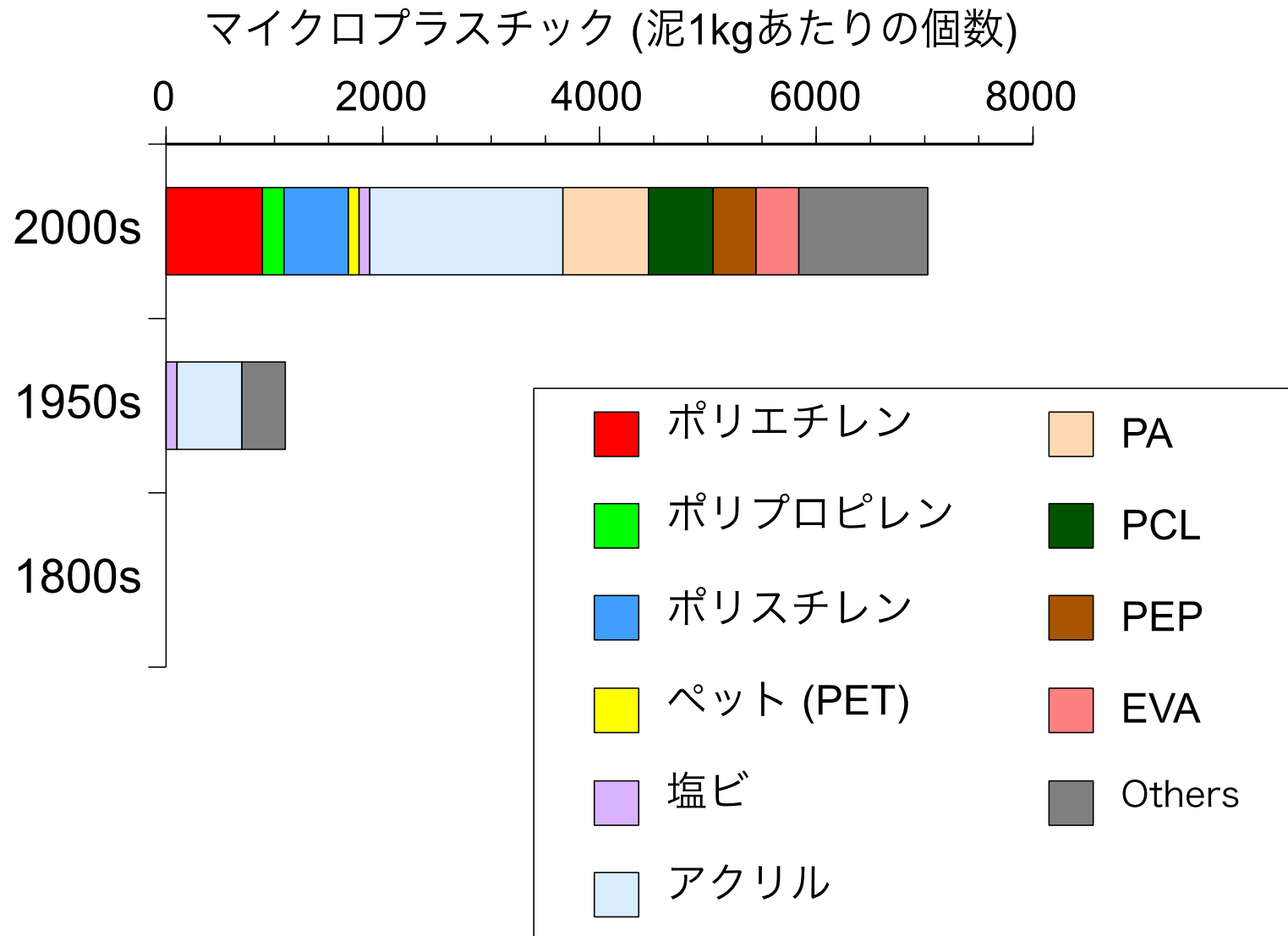
Collection of sediment core from imperial moat Sakurada



マイクロプラスチック鉛直分布

桜田 濠

桜田 濠



表層に向けてマイクロプラスチックの個数が増加傾向

アジア・アフリカで採取した柱状堆積物も分析

2005-2013

- **TACO project** (Tropical Asia Core Project)

- **Cosmopolitan waters**

(Comparative study on mechanism of pollution in tropical Asian and African waters)



Gulf of Thailand



Tokyo



Tonkin Bay, Vietnam



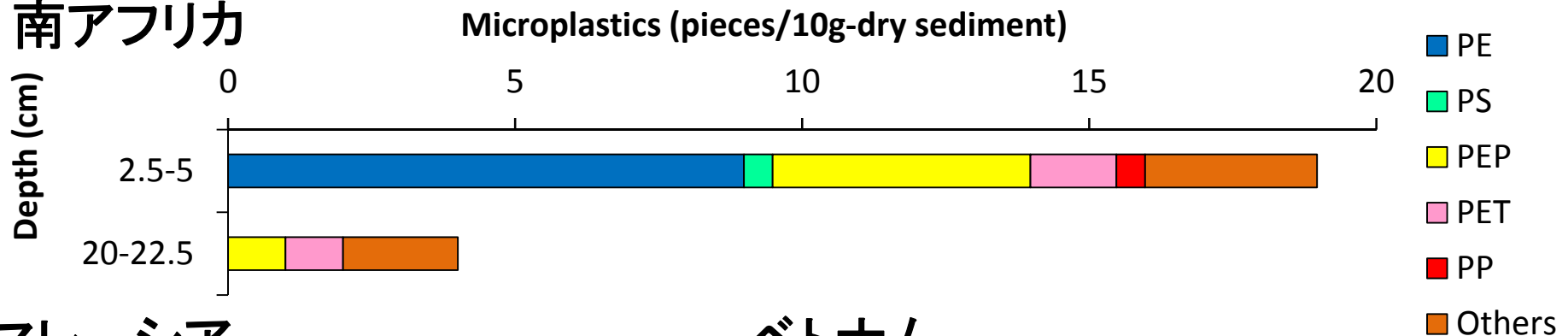
Straits of Johor, Malaysia



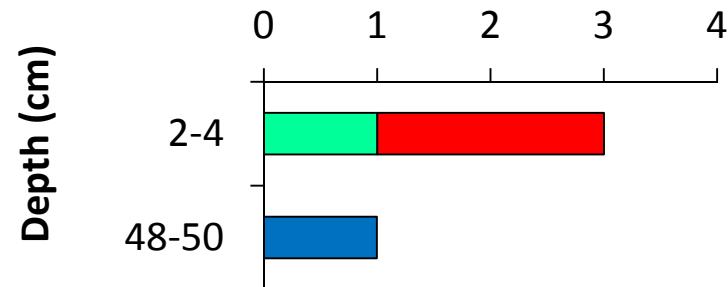
Durban, South Africa

マイクロプラスチック汚染の進行は世界的な現象

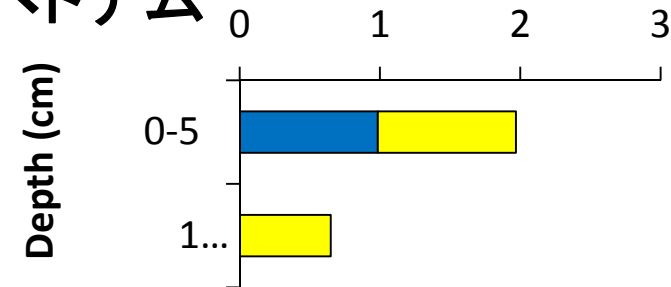
南アフリカ



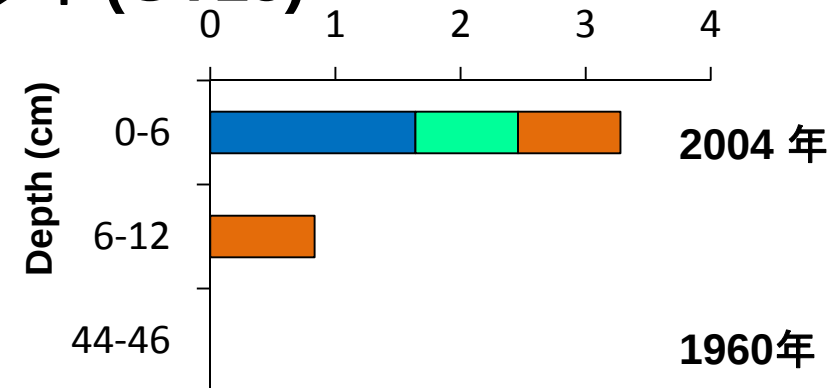
マレーシア



ベトナム



タイ (GT15)



表層に向かって個数が増加傾向



世界的に汚染が進行している

The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene

Colin N. Waters,^{1*} Jan Zalasiewicz,² Colin Summerhayes,³ Anthony D. Barnosky,⁴ Clément Poirier,⁵ Agnieszka Gałuszka,⁶ Alejandro Cearreta,⁷ Matt Edgeworth,⁸ Erle C. Ellis,⁹ Michael Ellis,¹ Catherine Jeandel,¹⁰ Reinhold Leinfelder,¹¹ J. R. McNeill,¹² Daniel deB. Richter,¹³ Will Steffen,¹⁴ James Syvitski,¹⁵ Davor Vidas,¹⁶ Michael Wapreisch,¹⁷ Mark Williams,² An Zhisheng,¹⁸ Jacques Grinevald,¹⁹ Eric Odada,²⁰ Naomi Oreskes,²¹ Alexander P. Wolfe²²

人新世



完新世

Science , Jan. 8, 2016

国連でも議論され、海のプラスチック汚染が国際的に共通した懸念に



第17回「海洋及び海洋法に関する
国連総会非公式協議プロセス
(ICP)」

2016年6月13日～17日



ニューヨーク 国連本部



1. 海洋プラスチック汚染：気候変動、海洋酸性化、生物多様性と並んで最も重要な環境問題

世界54カ国の代表、12の国際機関、8つの国際NGO、研究者約30名が参加し、海のプラスチック汚染とその対策について議論されました。

海洋プラスチック汚染を気候変動、海洋酸性化、生物多様性と並んで最も重要な地球規模環境問題と位置づけ、議論が行われた画期的な会議です。

第17回「海洋及び海洋法に関する国連総会非公式協議プロセス(ICP)」
2016年6月13日～17日

1.廃棄物管理の推進と3R(削減、再利用、リサイクル)推進が軸

- ・ゴミ分別の推進とそのための意識啓発
- ・再利用とリサイクルを促進するための製品デザイン
- ・紙や木などのバイオマスベースの素材の利用促進
- ・生分解性プラスチックの開発と普及
- ・海岸清掃活動の活性化
- ・環境啓発活動の推進など

循環型社会を展望した組み合わせ。

第17回「海洋及び海洋法に関する国連総会非公式協議プロセス(ICP)」
2016年6月13日～17日

2. 国際的には予防原則に基づく対応がとられている

マイクロプラスチックのリスクについて不確かなことあるという現状にもかかわらず、国際的には**予防原則の立場**から、国連での会議のように、対策は進められています。

←何も手を打たなければ、
海洋プラスチック汚染は深刻化

←海洋のマイクロプラスチックは除去できない

第17回「海洋及び海洋法に関する国連総会非公式協議プロセス(ICP)」
2016年6月13日～17日

The Ocean CleanupによるV字型フロートを使った 海洋漂流プラスチック回収装置

<http://www.theoceancleanup.com/technology/>



海のごく表面に浮いている大きなプラスチック=マイクロプラスチックの素を集めることには効果的。しかし、表層を動物プランクトン等の生物と共に漂っているマイクロプラスチックだけを集めることは不可能。

国際的には予防原則的に動いている

2015年12月 アメリカで**マイクロビーズ**配合禁止の
連邦法成立

2014年8月：米カリフォルニア州で**レジ袋**禁止の法案成立

2014年11月：EUが加盟国へレジ袋削減案策定を義務づけ

2025年までにレジ袋の消費を

1人1年40枚まで削減がEUの目標

日本では年間300億枚以上のレジ袋が使われている。

1人あたりでは年間300枚

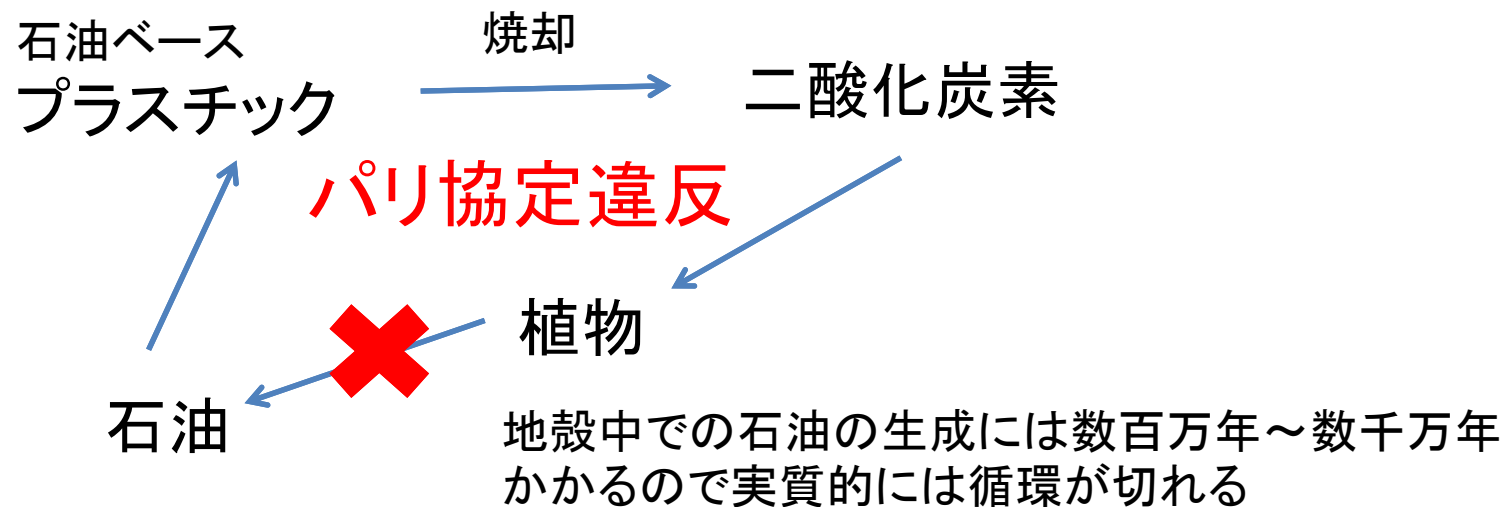
国際的には予防原則的に動いている

2014年3月：米サンフランシスコ市でペットボトルでの飲料水の販売を禁止

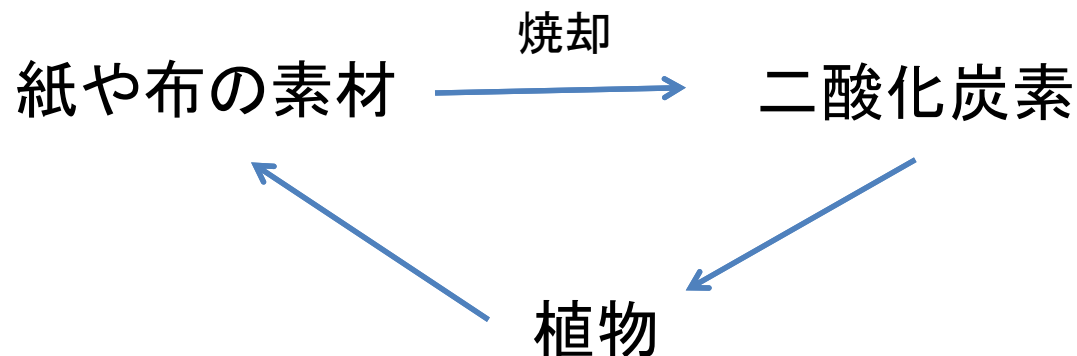
2016年9月：フランスで「プラスチック製使い捨て容器や食器を禁止する法律」成立（2020年より）

石油ベースのプラスチックは循環型でない→ バイオマスベースの素材は循環型である。

一方通行、温暖化が進む



循環型



プラスチックによる汚染低減のために、今市民ができること

- ・3Rの3つのRにも優先順位がある

Reduce > Reuse > Recycle

削減 > 再利用 > リサイクル > (プラゴミ発電)

- ・プラスチック、
特に使い捨てのものの使用を極力避ける。

レジ袋、ペットボトル飲料、コンビニ弁当等

No single-use plastic!