

国際プラスチック条約に向けて

マイクロプラスチック汚染、プラスチック中の有害化学物質規制

ダイオキシン・環境ホルモン対策国民会議(JEPA)・有害化学物質から子どもを守るネットワーク共催
2025年6月3日院内集会 (<https://kokumin-kaigi.org/>, <https://c.kokumin-kaigi.org/>)

東京農工大学名誉教授・高田秀重先生のご講演の概要

報告: 環境脳神経科学情報センター/JEPA 理事 木村一黒田純子

マイクロプラスチックによる環境汚染

現在、世界で年間4億トンのプラスチックが生産されている。これは石油産出量の8-10%にあたり、このままいくと2050年には20%に及ぶことになる(図1)。これらプラスチックのうち半分は容器包装に使用されているという。

陸上の廃棄物処理からもれたプラスチックが河川を通して海へ流入

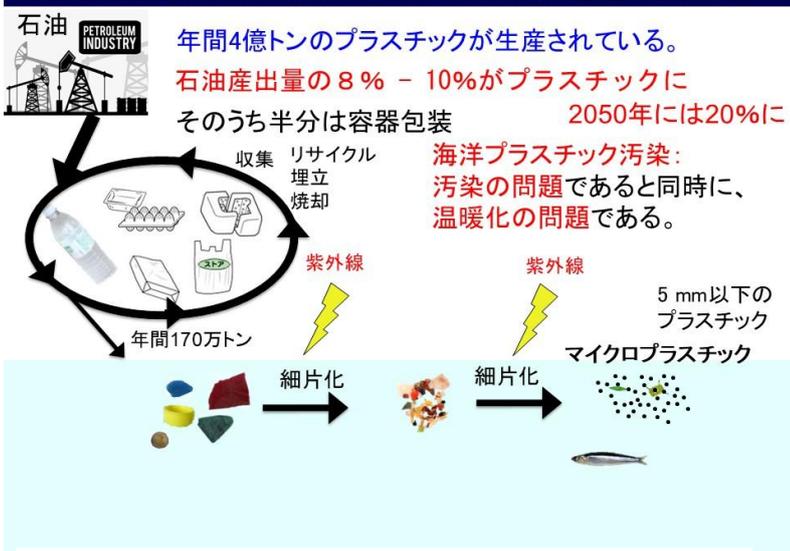


図1. プラスチックによる環境汚染

プラスチックの劣化、マイクロ/ナノプラスチックの生成は生産直後から始まる

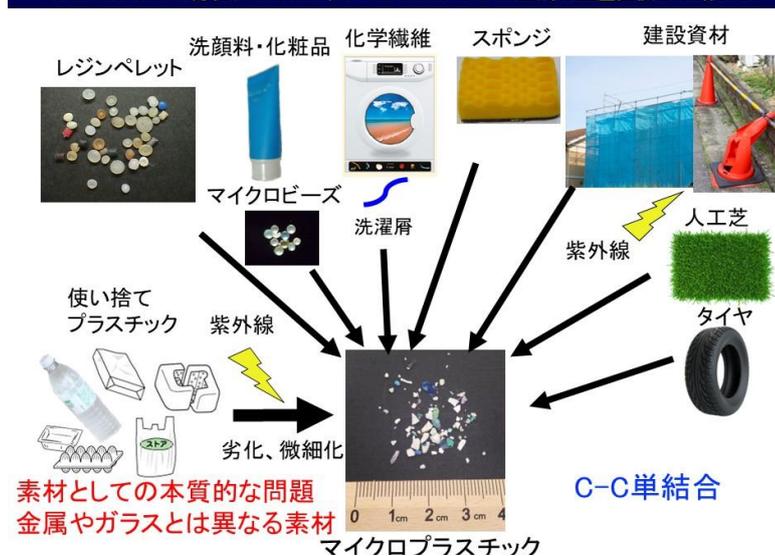


図2. プラスチックは劣化してマイクロ/ナノプラスチックになる

陸上の廃棄物処理からもれたプラスチックは河川を通して海に流入し、海洋汚染を起こしている。プラスチックは紫外線や物理的衝撃で劣化し、5 mm以下のマイクロプラスチック、さらに微細なナノプラスチックが発生することが問題となっている。マイクロ/ナノプラスチックは、海洋系で発生しているだけではなく、陸上でも至るところで発生しており、世界中の大気や土壌で検出されている。プラスチックの劣化、マイクロ/ナノプラスチックの発生は、生産直後から始まるのが素材としての宿命といえる。我々は金属やガラスなどの代わりに、プラスチックを数十年使用してきたが、予想以上に劣化しやすいことがわかってきた(図2)。

ペットボトルには1本約50個のマイクロプラが含まれており^{*1}、ナノプラまで含むと12万個ものマイクロ/ナノプラスチックが存在すると報告されている^{*2}。ペットボトル以外にも、プラスチック容器に入った食品を3分間電子レンジで加熱すると、1cm²当たり420万個ものマイクロプラスチックが放出されることも報告されている^{*3}。それ以外にも、摩耗を前提とした人工芝やタイヤがマイクロ/ナノプラスチックの重大な発生源となっている。

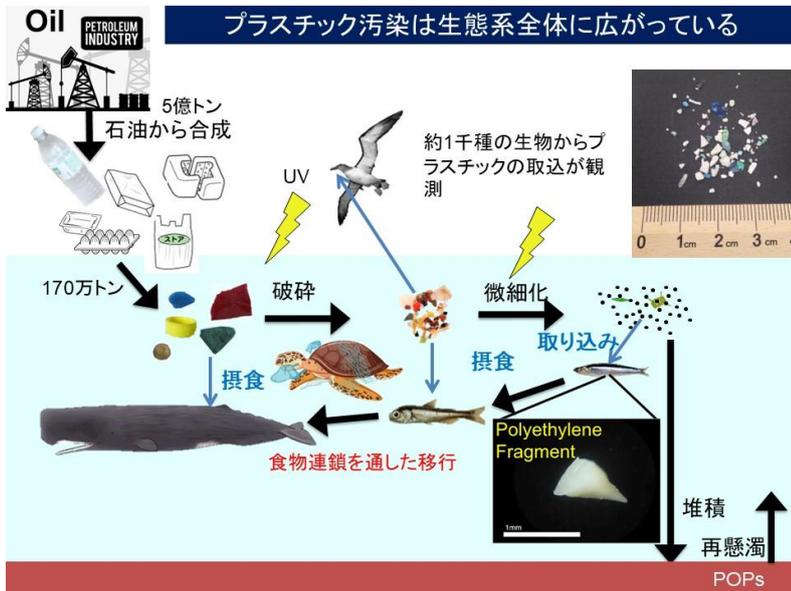


図3. 地球生態系を汚染しているプラスチック

ヒトへのMNPの曝露

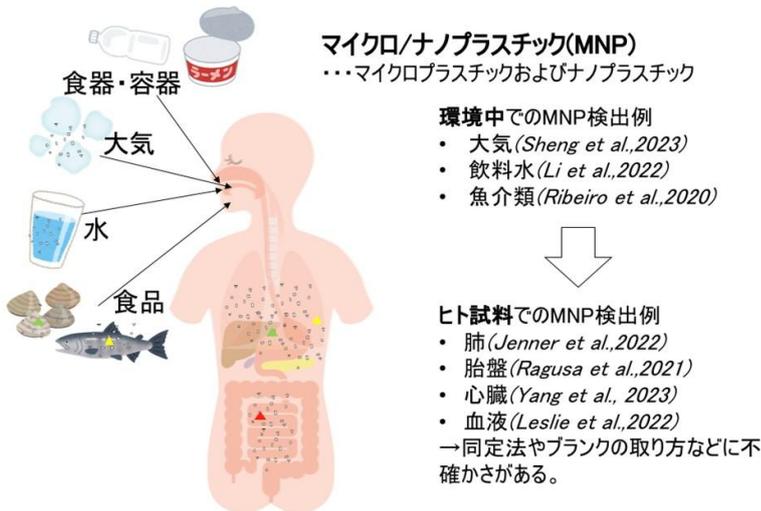


図4. ヒトの体のほぼ全ての組織に検出されるマイクロ/ナノプラスチック

海洋系のマイクロ/ナノプラスチックは小さい魚などに取り込まれ、それが食物連鎖によって大きな魚など生態系上位の生物に移行し、生態系全体を汚染している(図3)。

ヒトにおけるマイクロプラスチック汚染

ヒトも例外ではなく、体内からマイクロ/ナノプラスチックがほぼ全ての臓器で検出されている(図4)^{*4}。ヒト体内への取り込みは、魚類など以外にも水、大気中からも取り込む。さらにヒトは他の生物と違って、飲食にプラスチックを使用している唯一の生物なので、マイクロプラスチックの取り込み量が多いことになる。

プラスチックの生物影響1: 物理的ダメージ

元の形状を残したプラスチック汚染は、海洋生物や鳥類に致命的なダメージを及ぼすことが多数報告されている。タイで死んだクジラの胃の中から80枚のレジ袋が見つかり、コスタリカのウミガメでは鼻に刺さったストロー、胃にプラスチックが溜まり栄養失調で死亡したとみられる海鳥などが確認されている。

プラスチックの生物影響2: マイクロプラスチックによる障害

マイクロプラスチックは生物にとって異物なので、体内に取り込むと炎症反応(免疫反応)が起こる。ヒトでは血管のプラークに、マイクロプラスチックが検出されている。最近、マイクロプラスチックが心臓や脳の血管を詰まらせ、心筋梗塞や脳卒中を起こすことを示唆した疫学研究が報告されて話題になった(図5)^{*5,6}。

ただし、体内のマイクロ/ナノプラスチックの検出は、測定方法が確立されていないため、誤認の可能性も指摘されている^{*7}。2024年、高田秀重教授らが日本人の血液を用いて誤同定がない方法で調査したところ、11試料中4試料からブランク値(溶媒だけの値)の3倍を超えるポリスチレンのマイクロプラスチックを検出した^{*8}。

体内のマイクロプラスチック量を正確に把握するにはさらなる研究が必要だが、汚染されていることは確実だ

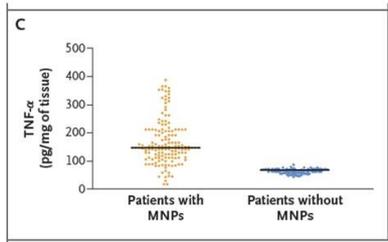
プラスチックの生物影響3: プラスチック中の有害化学物質

プラスチックポリマーからは、有害なモノマー(塩化ビニルやスチレンなど)が放出されることが以前から知られていた。それに加えてプラスチックには多種類の添加剤が加えられており、その毒性が懸念されている。プラスチック年間生産4

ORIGINAL ARTICLE

Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events

R. Marfella, F. Praticchizzo, C. Sardu, G. Fulgenzi, L. Graciotti, T. Spadoni, N. D'Onofrio, L. Scisciola, R. La Grotta, C. Frigé, V. Pellegrini, M. Municinò, M. Siniscalchi, F. Spinetti, G. Vigliotti, C. Vecchione, A. Carrizzo, G. Accarino, A. Squillante, G. Spaziano, D. Mirra, R. Esposito, S. Altieri, G. Falco, A. Fenti, S. Galoppo, S. Canzano, F.C. Sasso, G. Matakchione, F. Olivieri, F. Ferraraccio, I. Panarese, P. Paolisso, E. Barbato, C. Lubritto, M.L. Balestrieri, C. Mauro, A.E. Caballero, S. Rajagopalan, A. Ceriello, B. D'Agostino, P. Iovino, and G. Paolisso



血液中へMP, NPの侵入
異物としての認識
炎症
血管が詰まる
心筋梗塞、脳卒中

心筋梗塞、脳卒中との
関連を疫学調査で確認

図5.ヒト体内に取り込んだマイクロ/ナノプラスチックによる健康障害

プラスチック生産量の7%が添加剤 (Plastic Chemicals-1)

年間4億トンのプラスチックが生産される
→2800万トンの添加剤が生産されている。

可塑剤、難燃剤が75%

Geyer et al., 2017

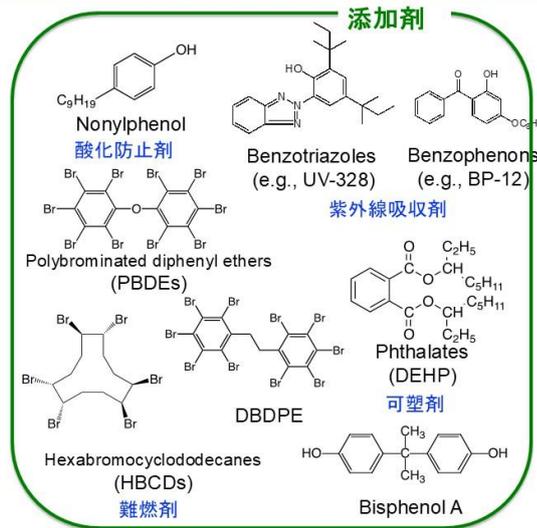


図6.内分泌かく乱作用や有害作用のあるプラスチックの添加剤

億トン中、約7%(約 2800 万トン)が添加剤で、そのうち可塑剤や難燃剤が多く 75%を占める(図6)*9。

臭素系難燃剤PBDE 類、HBCD 類、可塑剤のフタル酸エステルやビスフェノール A(BPA)などには、内分泌かく乱(環境ホルモン)作用が確認されている。それ以外の有害な添加剤では、紫外線吸収剤 UV-328 や酸化防止剤としてノニルフェノール類も使用されている。これらを総称してプラスチック関連化学物質 (plastic chemicals)とよび、国際プラスチック条約の課題となっている。

これらの添加剤やモノマーのなかには、内分泌かく乱作用が確認されているものがあり、正常なホルモン作用をかく乱して、動物やヒトの体内で、性、生殖、成長、脳の発達や甲状腺機能などに障害を起こすことが報告されている。プラスチック中の内分泌かく乱物質であるノニルフェノール、BPA、UV-329 など多種類の物質が、女性ホルモン作用をかく乱することが確認されている。

2022 年、高田教授らが 36 品目のプラスチック製品を調べたところ、32 品目中から内分泌かく乱物質が検出された(図7) *10。不織布のマスク、ポリスチレンの食品容器、食器洗浄用スポンジ、ビニール袋、人工芝からも内分泌かく乱物質が検出される。

これらの内分泌かく乱物質は、マイクロプラスチックになることにより、ポリマーの重合が緩く

なり、溶け出し易くなり、生物に濃縮されることが、この 10 年間の研究でわかってきた(図8)。マイクロプラスチックより添加剤が溶出し生物濃縮されることは、海鳥、2 枚貝、ウミガメなどの研究で確認されている*11-13。

日本では規制→輸入品から検出→国際条約の必要性

製品	材質	内分泌攪乱化学物質	製品	材質	内分泌攪乱化学物質
ジッパー付き密閉用ポリ袋	PE	UV-9, UV-PS, NP	マスク1	PP, PET, PVDF	BP-3, UV-9, UV-320
ポリ袋1	PE	NP	マスク2	PP, PVDF	NP
ポリ袋2	PE	BP-1, BPF, BPB, UV-P, UV-PS	マスク3	PP, PE	NP, UV-PS
スポンジ	PE	BPAP, NP, UV-PS, UV-329	マスク4	PP	NP
ポリ手袋	PE	BPZ, NP	マスク5	PP	UV-329, UV-PS, NP
プラスチック椀	PS	BP-3, BPB, NP, UV-9	洗濯ばさみ	PP	BP-3, NP
お弁当容器	PS, PP	BP-1, BPF, NP, UV-P, UV329	人工芝	PE	UV-328, UV-P, UV-9, NP
お弁当カップ	PET	-	三角コーン	PE	UV-P, NP, UV-328, UV-329
カップ麺容器1	PS, PP	UV-350, BPA, NP	ブルーシート	PE	NP
カップ麺容器2	PE	BP-1, NP	園芸マルチ	PE	BP-3, NP, BPZ
ストロー1	PP	NP	土嚢袋	PE	UV-329, UV-328, NP
ストロー2	PP	UV-9	苗ポット	PE	BPA, BPZ, BPF, BP-1, NP
ストロー3	PP	-	防風ネット	PE	-
ストロー4	PP, PE	NP, BPZ	釣り糸1	PE	BPZ, UVP, NP
PETボトル	PET	-	釣り糸2	ナイロン	NP
PETボトルのフタ	PE	BP-3, UV-P, NP, BPZ	ウキ	EVA	UV-328, UVP, NP
保冷箱	PS	BP-1, BP-3, UVP, NP	ルアー	ABS	UV-329, UVP
ランニング用給水ボトル	PUR	UV-P, UV-9, UV-329, NP	餌籠	PP	BPF

*坂根ら(2022:環境化学物質3学会合同大会要旨集p.555-556)のデータを基に作成

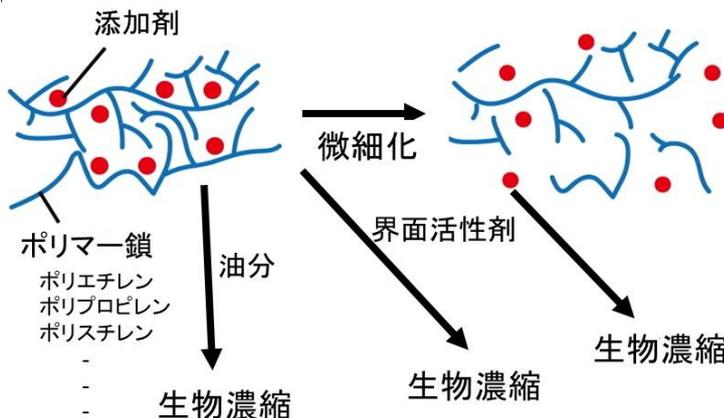
**PE: ポリエチレン, PP:ポリプロピレン, PET: ポリエチレンテレフタレート, PS: ポリスチレン, PVDF:ポリフッ化ビニリデン, EVA: エチレン酢酸ビニルコポリマー, ABS: アクロニトリル・ブタジエン・スチレンコポリマー, PUR:ポリウレタン

***NP: ノニルフェノール, BPF: ビスフェノールF, BPB: ビスフェノールB, BPAP: ビスフェノールAP, BPZ: ビスフェノールZ

図7 プラスチック製品 36 品目中 32 品目から内分泌かく乱物質が検出(赤枠は輸入品)

プラスチックの微細化により添加剤の生物濃縮が促進される

マイクロプラスチックになることにより溶け出し易くなるのが、ここ10年ほどの研究でわかった



videonews.com

図8.マイクロプラスチックは重合が緩くなり添加剤やモノマーが溶出しやすい

プラスチック由来の内分泌かく乱物質の曝露はヒトでも起こる。プラスチック食品容器などからの直接的な曝露以外に、食物連鎖で魚類に蓄積したマイクロプラスチックなどからも間接的に曝露することがわかってきた(図9)。その上、海洋系のマイクロプラスチックは、PCBなど過去の有害な汚染物質まで吸着している。

人間には直接的および間接的に環境ホルモンが 曝露されることがわかった

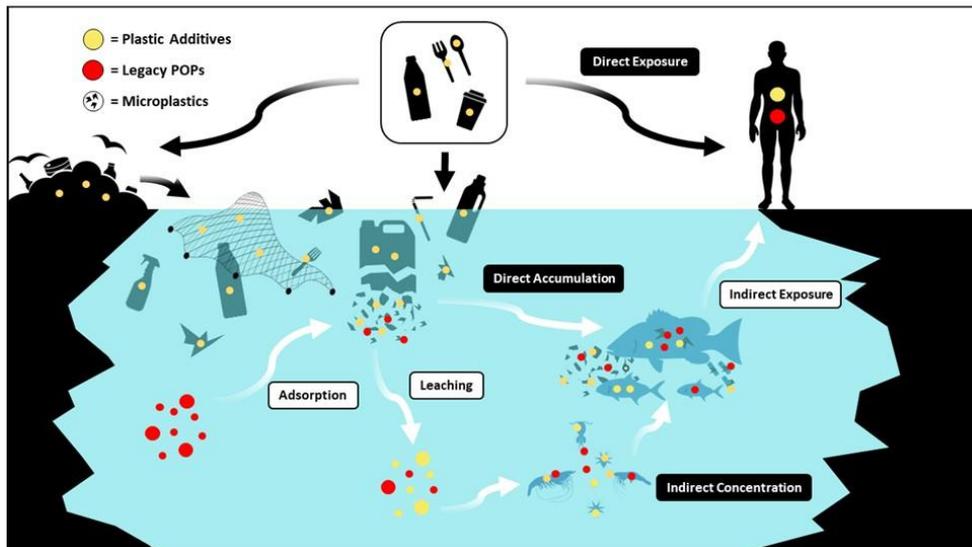


図9. プラスチック由来の内分泌かく乱物質がヒト体内に取り込まれる経路

プラスチック添加剤がヒト組織・血液中に検出されることは、20年以上前から確認されている。高田教授らは22年前に、日本人の臍の緒からBPAを検出している。2023年の調査では、日本人の血液中にスチレンポリマーと共に紫外線吸収剤が検出されている。人体内のプラスチック由来の添加剤汚染は、検出方法にも疑いの余地がない事実である^{*14-17}。疫学調査では、プラスチック由来の添加剤による生殖機能異常や肥満などの

代謝異常について、相関関係が報告されている^{*14,15,17}。

さらにBPAやノニルフェノールはそれぞれ子宮内膜症や乳がんのリスクを上昇させ^{*17,18}、BPAは脳発達に悪影響を及ぼして自閉症のリスクを上げることが疫学研究で報告されている^{*19}。

プラスチックの使用と健康障害の関連を示唆する疫学調査例もある。環境省のエコチル調査では、使い捨てのプラスチック容器に入った弁当や冷凍食品を週1回以上食べた妊婦は、死産の割合が約3倍増加すると報告されている^{*20}。使い捨てのプラスチック食品容器を多く利用する人では、うつ血性心不全が多いという海外の研究報告もある^{*21}。

プラスチック由来の有害化学物質とその規制

プラスチック由来の有害化学物質による健康影響については、多くの研究をメタ解析した総説が2024年に発表された^{*22}。この総説では、添加剤等のプラスチック関連化学物質が人の健康に影響を与えていると結論づけている。BPA、フタル酸エステル類、臭素系難燃剤・臭素化ジフェニルエーテル類（PBDE類）の曝露が、子供の性的成熟の遅延、早熟、乳癌や子宮内膜症の増加、精子数の減少、糖尿病、肥満、免疫力の低下を起こしていることがわかってきた。従って、国際プラスチック条約では、このような有害なモノマーや添加剤などプラスチック関連化学物質の規制が重要である。

これらの物質はこれまで何の規制も行われていないわけではなく、ストックホルム条約^{*23}で臭素系難燃剤PBDE類は既に規制されており、2023年には紫外線吸収剤UV-328が規制対象となった。しかし、UNEP国連環境計画の報告では^{*24}、プラスチックに使用されている化学物質は約13000種、毒性が調べられているのは約7000種、そのうち約3200種に有害性が懸念されている(図10)。その中で規制されているのは130種だけで、不十分と言わざるを得ない。そもそも、ストックホルム条約で規制されるのは、残留性のある化学物質に限定されている。残留性が低くても毎日曝露されれば体内にはいつも化学物質が存在し、影響を及ぼす。従って残留性は低いとされるが、有害性が確認されているBPAやフタル酸エステル類は、国際プラスチック条約で規制されることが必要だ。

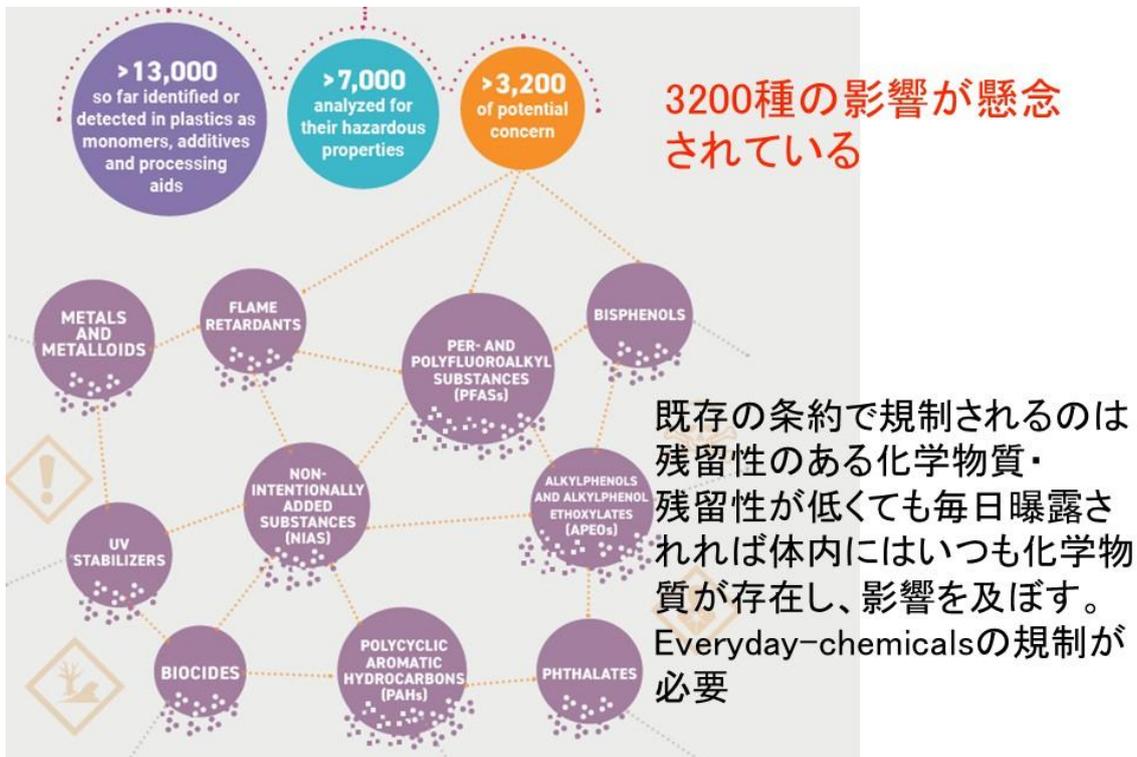


図 10. プラスチックに使用されている化学物質中 3200 種は有害性が懸念されている

<https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report> より引用

国内では BPA やフタル酸エステル類は化審法の対象になっているので国内製品については一部で規制されているが、輸入製品からは内分泌かく乱物質が多く検出されている。そのことから国際プラスチック条約で、プラスチックに含まれる添加剤やモノマーの規制を明記することが必要となっている

国際プラスチック条約策定に向けて

2022 年 3 月の国連環境総会で、プラスチック汚染(海洋環境を含む)に関する国際的な法的拘束力のある条約(プラスチック条約)を 2024 年末までに制定することが決議された。これまでに政府間交渉委員会が 5 回開催され、昨年 11 月末から 12 月初めに韓国釜山で約 170 カ国が参加して INC5.1 の会議が行われたが、残念ながら合意に至らず、今年 2025 年 8 月の INC5.2 の会議に持ち越された^{*25}。

国際プラスチック条約の議長草案(Chair's text)は、32 条にもわたるものだが、そのうちの 3 条に「規制対象物質選定委員会(review committee)を締約国会議(COP)の下に作り、有害性の懸念のある化学物質や製品を規制対象物質選定委員会で検討し、その提案を締約国会議で承認して、規制すべき物質として付属リストに載せる。規制とは、生産、輸出、輸入の禁止である」と明記されている。

昨年の INC5.1 国際プラスチック条約策定に向けて、高田教授は以下の 5 点が重要と考えてきた。①プラスチックの消費量の削減、②高懸念化学物質の規制、③高懸念ポリマー(劣化し易い and/or モノマーが有害)の規制、④製品の造り方・デザイン、⑤拡大生産者責任制度の導入。しかし、これでは産油国が合意に至ることが難しい状況があるので、今年 2025 年 8 月の INC5.2 の、プラスチック条約策定については、このなかで②と③をとくに強調して攻めることが有効であると考えている。

②高懸念化学物質の規制のために、規制対象物質選定委員会の創設は譲れない条件である。規制する化学物質としては、フタル酸エステル類、ビスフェノール類を含むことが必要だ。何故なら、この2つ

の化合物は世界のいくつかの国や地域で規制されている、すなわちこの2つの化合物の健康影響は国際的にも認められていて、規制をすることの合意は得やすいと考えられるからである。鍵は規制の範囲を広げていくことである。

国内でも、フタル酸エステル類は玩具類で規制されており、BPA は食品容器については溶出する濃度に一定の規制はあるが、それだけでは不十分である。フタル酸エステル類についても BPA についても 25 年ほど前に図 9 の direct exposure (直接曝露) だけを考慮して規制が進められてきた。それ以降、特にここ 15 年ほどの研究から明らかになったことは、マイクロプラスチックを介した間接曝露の重要性である。間接曝露を減らすために、玩具や食品容器だけでなく、野外で使用するプラスチックも含め全用途の規制が必要と考えている。

プラスチック中の懸念化学物質は UNEP の資料によると 3200 種もあるので、BPA とフタル酸エステル類だけでは不十分との声もあるが、規制対象物質選定委員会を設置して、そこで今後規制対象を増やしていくことが有効と考えている。まずは、産油国も含め多くの国が健康影響を認める化学物質から入って、条約の制定につなげることが重要と考える。

③高懸念ポリマーとしては、ポリ塩化ビニル、発泡スチロール、ポリカーボネート、エポキシ樹脂、ポリプロピレンがあげられる。高懸念ポリマーについては 2 つの視点が重要と考えている。すなわち有害性が確認されているモノマーや劣化しやすいポリマーを規制することだ。

劣化により有害なモノマーを放出するポリマーとしては、ポリ塩化ビニル、ポリスチレン、ポリエチレンテレフタレートが挙げられる。加えて内分泌かく乱物質である BPA を原料としたポリカーボネートやエポキシ樹脂は、アルカリ性条件下で加熱されるとポリマーが分解し、有害なモノマー・BPA が溶出しており、世界各地のゴミ埋立地で高濃度の BPA が浸み出しているのが、規制対象とすべきである。

劣化しやすいポリマーとしては、ポリスチレン、ポリプロピレンが挙げられる。ポリプロピレンはもともと劣化し易いので、劣化防止の有害な添加剤が含まれ、それが漂流プラスチックで世界中に広がっていることが最新の研究でわかってきた^{*26}。

以上まとめるとポリ塩化ビニル、発泡スチロール、ポリカーボネート、エポキシ樹脂、ポリプロピレンは優先的に規制されるべきポリマーと考えられる。ポリ塩化ビニルと発泡スチロールについては規制が行われている国や地域もあるので、それを国際的規制に拡大するというスタンスであれば合意も得やすいと考える。

加えて製品の造り方・デザインの点から、マイクロプラスチックそのものであるマイクロビーズ(化粧品類)、マイクロカプセル(柔軟剤など)、さらにマイクロプラスチックの主要発生源である人工芝も優先的に規制すべきだ。

プラスチック全般の使用規制、削減を掲げても、産油国との溝は埋めにくい。その溝を埋めて条約制定を実現させるため、はじめの規制対象ポリマーや化学物質を特定することと、将来のその拡大のための規制対象物質選定委員会 (review committee) の創設を提案し、産油国との合意を目指すことが現在必要とされている。

上記は 6 月 30 日に Center For Southeast Asian Studies 主催で行われた International Workshop on Sharing Scientific and Technical Knowledge Essential for the Development of the Plastics Treaty toward INC 5.2 で、インドネシア、ベトナム、フィリピン等の条約交渉官にも提案した。

参考資料

- *1: Cox KD. et al. 2019. Human Consumption of Microplastics. *Environ Sci Technol.* 53(12):7068–7074.
- *2: Qian N. et al. 2024. Rapid single-particle chemical imaging of nanoplastics by SRS microscopy. *Proc Natl Acad Sci U S A.*;121(3)
- *3: Hussain KA. et al. 2023. Assessing the Release of Microplastics and Nanoplastics from Plastic Containers and Reusable Food Pouches: Implications for Human Health. *Environ Sci Technol.*;57(26):9782–9792.
- *4: Thompson RC. et al. .2024. Twenty years of microplastic pollution research–what have we learned? *Science.*;386(6720): eadl2746.
- *5: Marfella R. et al. 2024. Microplastics and Nanoplastics in Atheromas and Cardiovascular Events. *N Engl J Med.*;390(10):900–910.
- *6: Nihart AJ. et al. 2025. Bioaccumulation of microplastics in decedent human brains. *Nat Med.*;31(4):1114–1119.
- *7: Xu JL. et al. 2025. Are microplastics bad for your health? More rigorous science is needed. *Nature.* 639(8054):300–302.
- *8: Japan 2 Earth, <https://featured.japan-forward.com/japan2earth/2024/04/6607/?lang=ja> 2024/04/05
- *9: Geyer R. et al. 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci Adv.*;3(7).
- *10: 坂根ら、2022 年日本環境化学物質学会合同大会要旨集、P555–556
- *11: Tanaka K. et al. 2020. In Vivo Accumulation of Plastic-Derived Chemicals into Seabird Tissues. *Curr Biol.*;30(4):723–728.
- *12: Takano T et al. 2024. Dietary exposure experiments on the migration of chemical pollutants from microplastics to bivalves. *Mar Pollut Bull.* 206:116740.
- *13: Fukuoka T et al. 2024. Detection of benzotriazole-type ultraviolet stabilizers in sea turtles breeding in the Northwest Pacific Ocean. *Mar Pollut Bull.*:206:116753.
- *14: Shi, X., et al., 2022. Associations between polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) levels in adipose tissues and female menstrual cycle and menstrual bleeding duration in Shantou, China. *Environ. Pollut.* 301, 119025.
- *15: Choi, J.Y., et al., 2022. Urinary bisphenol concentrations and its association with metabolic disorders in the US and Korean populations. *Environ. Pollut.* 295, 118679.
- *16: Dong, J., et al., 2020. Associations of urinary di-(2-ethylhexyl) phthalate metabolites with the residential characteristics of pregnant women. *Science of The Total Environment* 707, 135671.
- *17: Cobellis, L., et al., 2009. Measurement of bisphenol A and bisphenol B levels in human blood sera from healthy and endometriotic women. *Biomedical Chromatography* 23, 1186–1190.
- *18: Soto AM. et al. 1991. p-Nonyl-phenol: an estrogenic xenobiotic released from “modified” polystyrene. *Environ Health Perspect.* 92:167–73.
- *19: Hansen JB. et al. 2021. Prenatal exposure to bisphenol A and autistic- and ADHD-related symptoms in children aged 2 and 5 years from the Odense Child Cohort. *Environ Health.*;20(1):24.
- *20: Tamada H. et al. 2022. Impact of Ready-Meal Consumption during Pregnancy on Birth Outcomes: The Japan Environment and Children’s Study. *Nutrients.* 14(4):895.
- *21: Wu Y. et al. 2024. Effects of leachate from disposable plastic takeout containers on the cardiovascular system after thermal contact. *Ecotoxicol Environ Saf.*:288:117383.
- *22: Symeonides C et al. 2024. An Umbrella Review of Meta-Analyses Evaluating Associations between Human Health and Exposure to Major Classes of Plastic-Associated Chemicals.

Ann Glob Health.;90(1):52.

*23: ストックホルム条約(POPs 条約)とは、人体や環境に悪影響を与える残留性有機汚染物質の製造および使用の廃絶・制限、排出の削減、廃棄物の適正処理について、明確なルールを定めた国際的な条約。正式名称は「残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約」。

*24: Chemicals in Plastics – A Technical Report. <https://www.unep.org/resources/report/chemicals-plastics-technical-report>

*25: UNEP, Second Part of the Fifth Session (INC-5.2), <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution/session-5.2>

*26: Matsunaga L. et al. 2025, Benzotriazole UV-stabilizers in beached plastic resin pellets collected across the world including remote islands: Evidence of plastic-mediated long-range environmental transport (LRET) of additives. Environmental Monitoring and Contaminants Research Vol.5, 26-34.