

マイクロプラスチック問題と その実態及びその影響評価について

長浜バイオ大学 教授
小倉淳

1

長浜バイオ大学 バイオサイエンス学部 教授

東京大学農学部卒 - 同大学院農学生命科学研究科修了(修士) - 総合研究大学院大学遺伝学専攻修了(博士)

学振PD - ハーバード大学研究員 - お茶の水女子大学特任助教 - 徳島大学講師などを経て現職

株式会社ノベルジェン 代表取締役社長

2017年滋賀テックプランタータカラバイオ賞・関西アーバン銀行賞・オーディエンス賞

2017年マリンテックGP DNP賞、NEDO NEP採択、関西みらい銀行共同研究費採択、イッカク事業採択他

2019年10月資本金1000万円にて設立

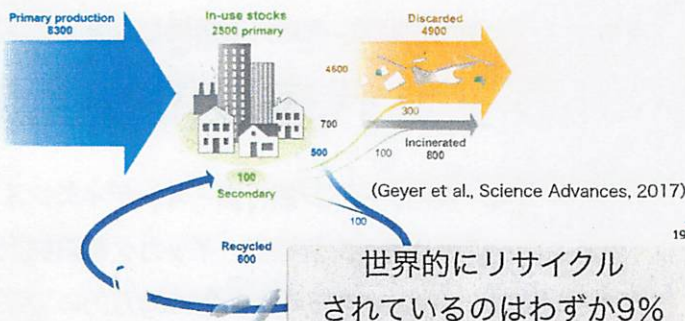
小倉淳

2

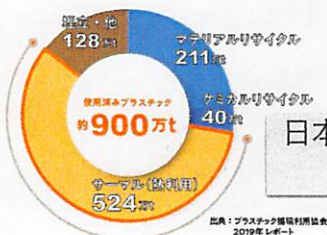
1. マイクロプラスチック問題とは



プラスチックごみ問題 増え続けるプラスチックごみ

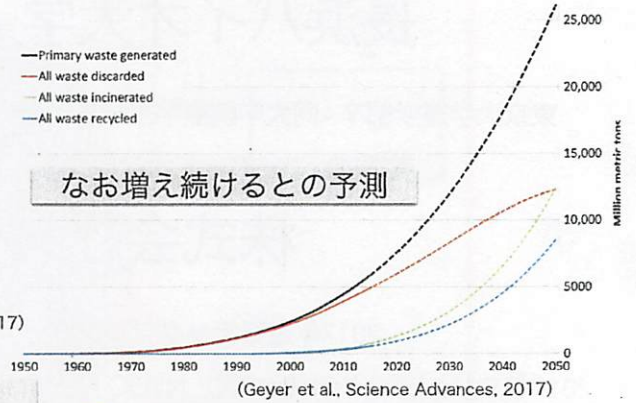


国内使用済みプラスチック排出量内訳

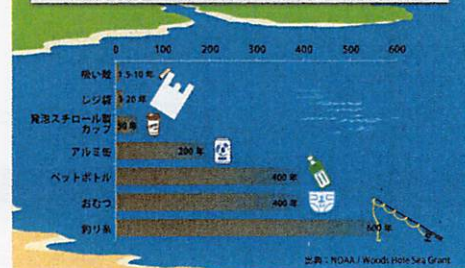


日本ではリサイクル85%と
言うけれど？

Cumulative plastic waste generation and disposal



自然界で分解にかかる時間



プラスチックごみ問題の課題

様々なところに影響



温室効果ガスの排出量の増加



誤飲による生態系への影響



MPに吸着する化学物質による生態系や人体への影響



美観・景観が損なわれる



船舶航行への障害



漁業への影響



適正処理への懸念

一次マイクロプラスチック (Primary microplastics)

出典：GREENPEACE



歯磨き粉などに含まれる
マイクロビーズ

出典：東京農工大学 高田秀雄 教授



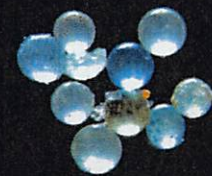
プラスチック製品の中間原料
レジンペレット

微細なため
下水処理施設を通り抜ける

排水などを通じて
環境中へ流出

ペレット自体に添加剤が
含まれている場合も

東京湾海水中から検出されたマイクロビーズ



撮影：西部裕一郎氏

1 mm

ペレットが残留性有機汚染物質 (POPs) を吸着し、世界中の海洋に汚染が広がっている



PCB concentrations in beached plastic resin pellets (ng/g)

出典：International Pellet Watch (IPW)

二次マイクロプラスチック (Secondary microplastics)

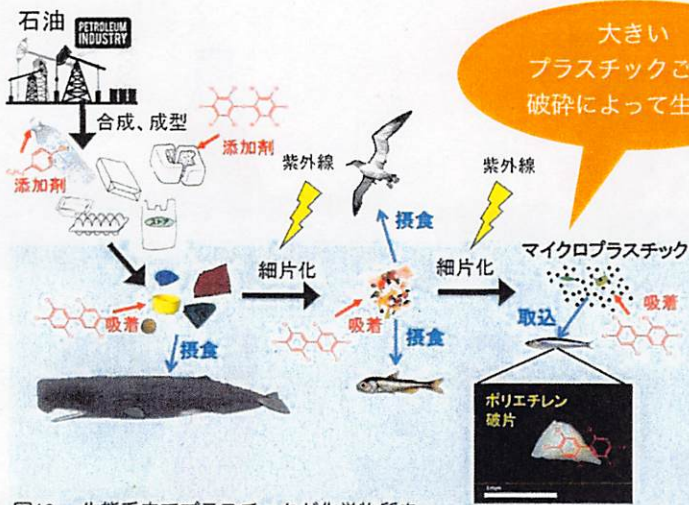


図19. 生態系内でプラスチックが化学物質を運ぶ 魚の消化管から検出

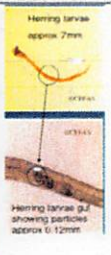
出典：東京農工大学 高田秀重教授



気象庁が日本から約1000km離れた太平洋上から回収したマイクロプラスチック (出典：気象庁)

東京湾の調査では
8割のイワシの体内から見つかる

Plastic fragments found in 5-week old rainbow runner caught at 23°05'35N, 147°12'56W on August 13, 2008.

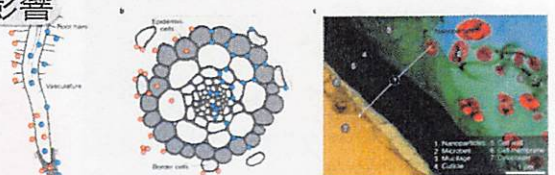


出典：一般社団法人環境金融研究機構

マイクロプラスチックにより死に追いやられる生物 自然環境における有害性



生態系への多大なる影響



MPで植物も成長が阻害される

(Sun et al., Nature Nanotechnology, 2020)

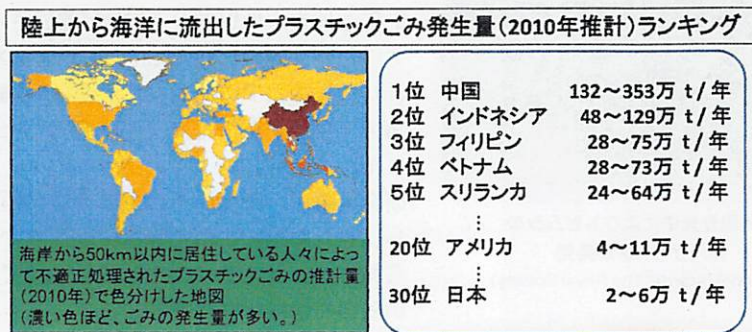


2. マイクロプラスチックの実態

9-

海洋マイクロプラスチック 9割は陸上から河川を通じて海に

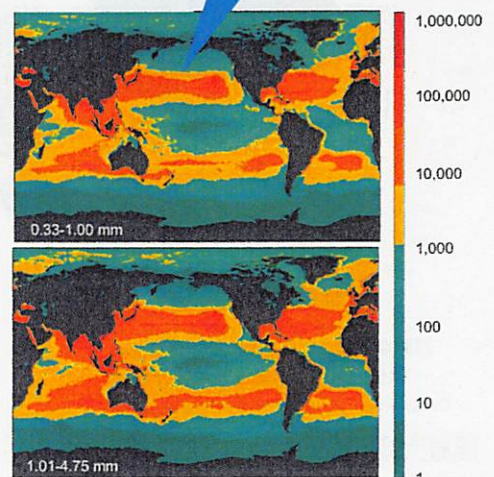
太平洋ゴミベルトには1.8兆個のプラスチックが浮遊と推測。そのうちの94%はMPが占める！



○陸上から海洋に流出したプラスチックごみの発生量(2010年推計)を人口密度や経済状態等から国別に推計した結果、1~4位が東・東南アジアであった。
(参考)Plastic waste inputs from land into the ocean (2015, Feb. Science)

出典：環境省資料

海洋プラスチック汚染は
地球規模で広がっている
北極や南極で観測されたとの報告も

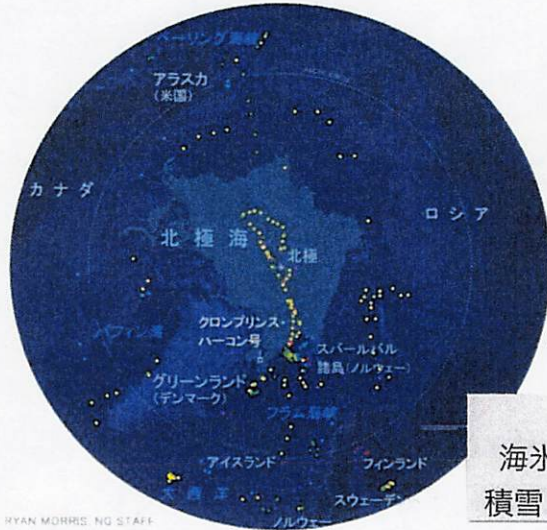


海洋プラスチックの密度分布予測
(Eriksen et al., PLOS ONE, 2014)

北極でのマイクロプラスチック

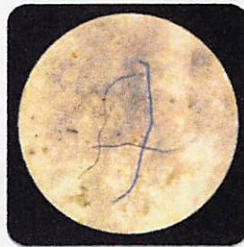
プラスチックゴミが見つかった場所

・ 海岸 ・ 表層水 ・ 海底 ・ 外海 ・ その他



RYAN MORRIS, NG STAFF
titterbate aww de

出典：National Geographic



グリーンランドの海水コアで
採集されたマイクロプラスチック
(PHOTOGRAPH BY LAWRENCE HISLOP)

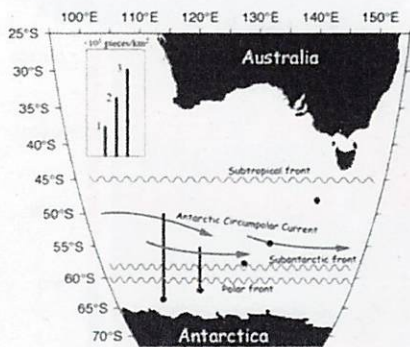
カナダの北からシベリア沖まで、北極圏の広い範囲でMPが確認されている。北極海の海底のいくつかの場所で測定されたMP粒子の数は世界最多レベル。

北極の動物の体内からもプラスチックが見つかっており、フルマカモメに関してはプラスチックを集める磁石のようになっている。

フラム海峡では
海氷1Lあたり1万2000個以上のMP粒子、
積雪1Lあたり1万4000個ものMP粒子が検出

南極でのマイクロプラスチック

人間の住む国々から遠く離れた南極の孤島に暮らす小型の節足動物にまでMP汚染が広がっている



観測点位置とMP採集数から推定した
単位面積当たりの浮遊密度分布
(Isobe et al., Marine Pollution Bulletin, 2017)

風速や波高をもとに推定すると
最も多い測点で28万6千粒/km²



赤外線分光法によりトビムシの
体内からMPが発見
(Giovanni Birarda, The Royal Society)

北太平洋での平均的な
浮遊密度と同じ水準

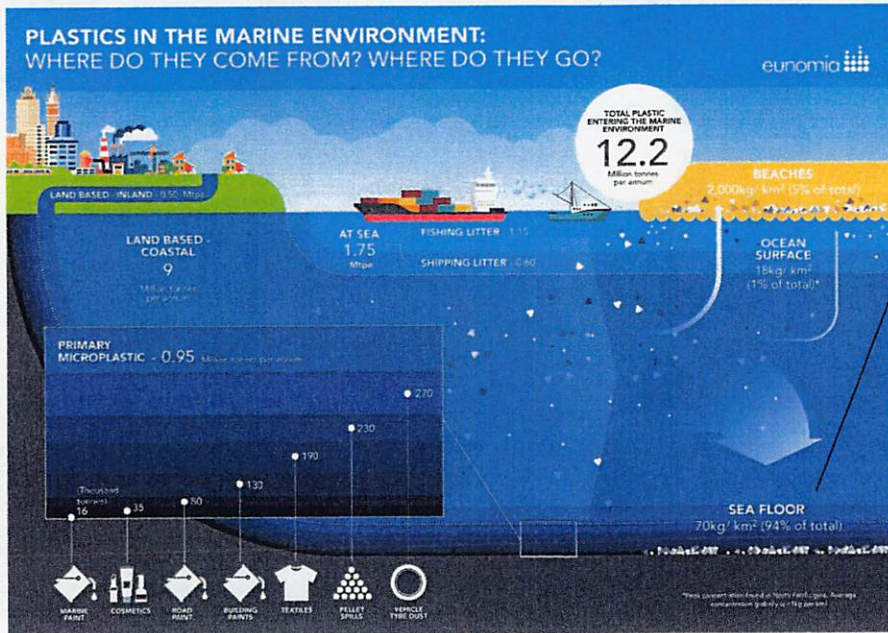
南極の地表水は以前からMPが確認されていたが、南極の海氷にもMPが確認された。氷のコアのサンプルからは14種類の発生源から96個以上の粒子が検出した。

研究者らは、南極の氷の大部分は融解し、新たに形成された際に、表層水から微小なプラスチック片を取り込んでいたのではないかと推測。

また、南極沿岸の海氷には、北極の海氷よりも大きなMPの粒子が含まれており、プラスチックが分解されるまでの時間が短いことを示唆された。

(海洋南極研究所(IMAS), 2020)

海洋中の廃棄物とマイクロプラスチックの行く末



海洋に放流されたプラ廃棄物の94%は海底に蓄積。約70kg/km²あると推定。

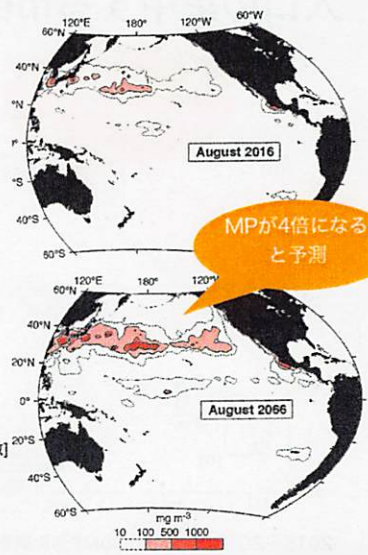
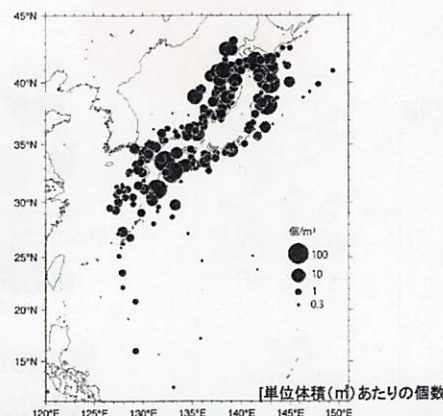
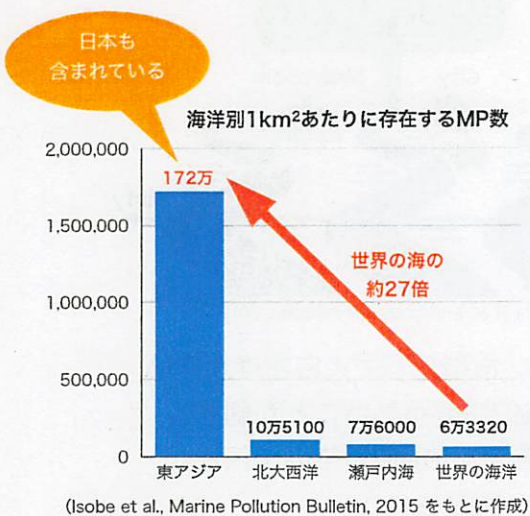


海底は光が届かず、波の力もないため、海底の地質運動や深海の微生物による分解作用があるかもしれないが、単なる化学変化だけでは数百年以上も分解されないといわれている。

(Sherrington, Eunomia, 2016)

日本近海におけるマイクロプラスチック

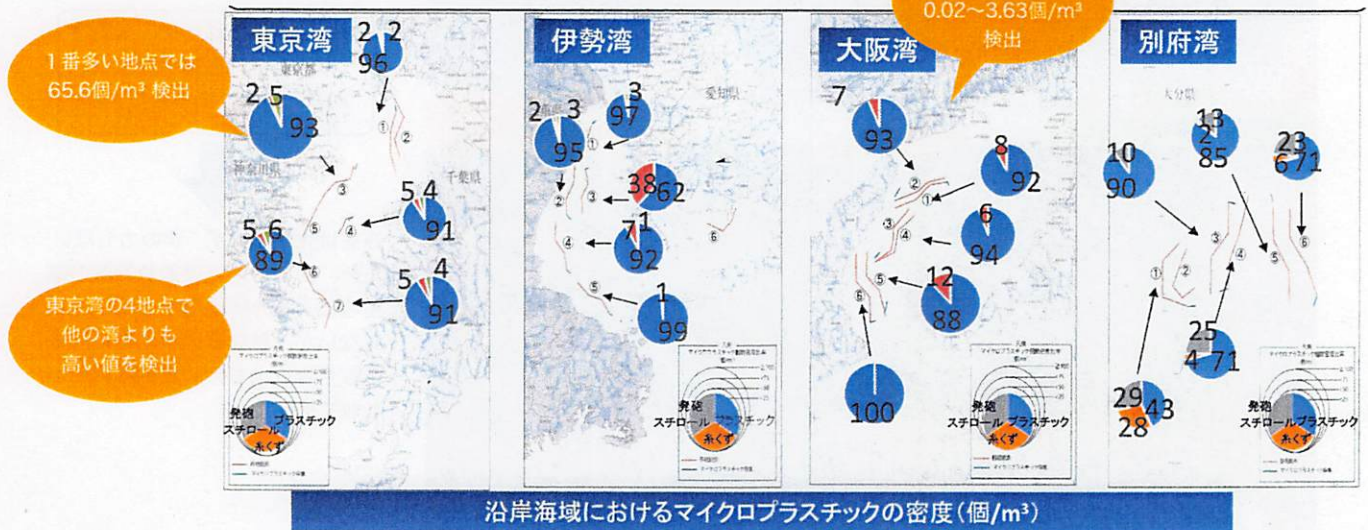
世界的に見て非常に多い



シミュレーションによる太平洋のMP浮遊量50年予測 (Isobe et al., Nature Communications, 2019)

日本沿岸海域におけるマイクロプラスチック

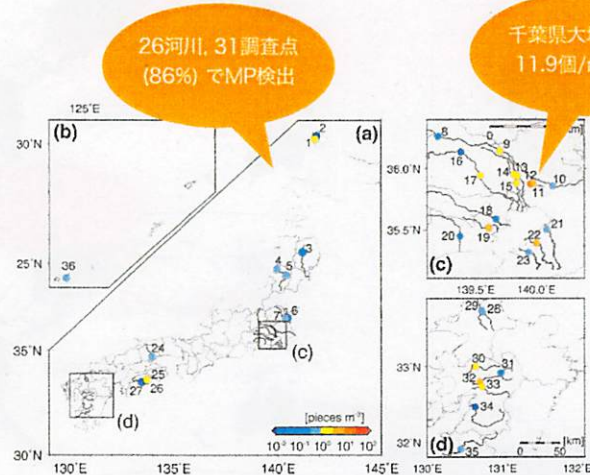
平成30年度の調査では東京湾が最も多い



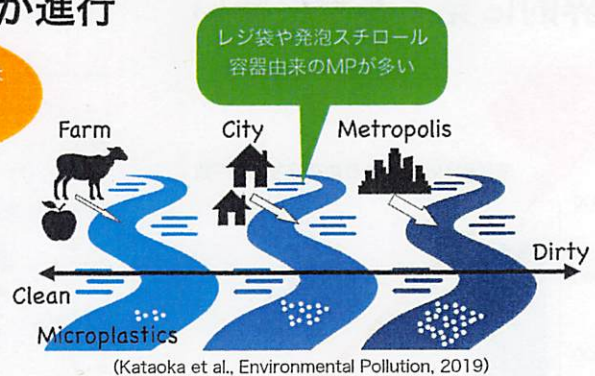
出典：環境省「平成30年度海洋ごみ調査の結果について」

日本の河川におけるマイクロプラスチック

人口の集中する市街地を中心に汚染が進行



2015~2018年 国内河川のMP汚染調査結果 (国内29河川, 36調査点) (Kataoka et al., Environmental Pollution, 2019)



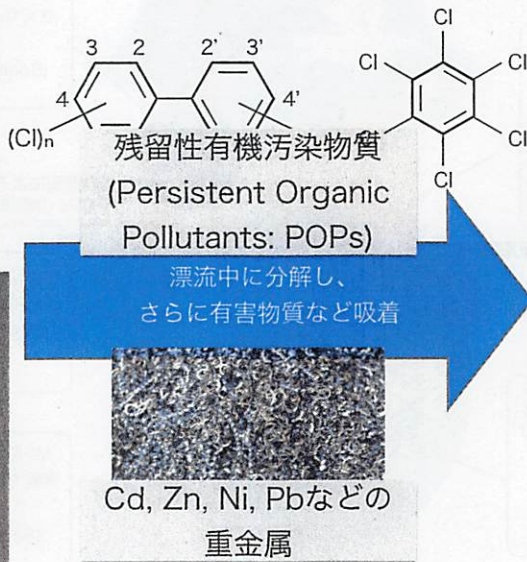
調査の結果、市街化して人口密度が高い河川ほどMP濃度が高いことが判明。人間活動と河川のMP汚染の関係性が実証された。

3. マイクロプラスチックの影響評価



17

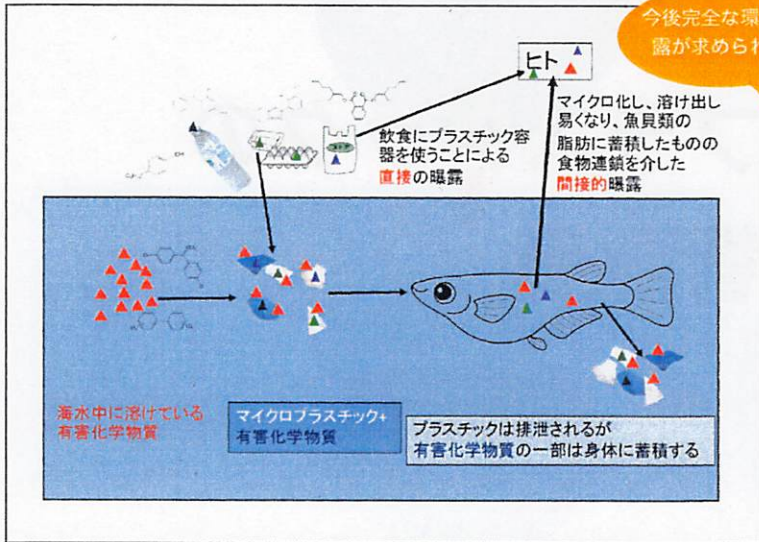
マイクロプラスチックの吸着性能 非汚染海域でもMPから高濃度の有害物質が検出



18

人体への影響

まだまだ調査が進んでいない



出典：高田秀重 教授, 海洋プラスチック汚染とその対策

今後完全な環境暴露が求められる

日本人を含む8カ国の成人に対する調査で、8人全員の便検体からMP（便10g当たり平均20個）が検出された。対象サンプルが限られているが、人体がMPを摂取していることが初めて確認された。
（オーストリア政府とウィーン医科大学の共同研究, EU消化器学会国際会議, 2018）

11の主要な国際ブランドのペットボトル入り飲料水259本のうち、93%にポリプロピレン、ナイロン、PETなどのMP（1L当たり平均10.4個）が混入しているとの研究報告例も。
（Orb Media, 2018）
翌年、WHOは、飲料水の中のMPのほとんどが体内へ吸収されずに排出されると、研究結果が示していると見解。しかし、これまでの研究では相当のデータが不足しており、より大規模な調査を行う必要があるとしている。（2019）

人体への被害報告は、まだないけれど・・・

プラスチック製品に加えられる添加剤の中には、内分泌攪乱作用や生殖毒性を持つものも含まれる。さらに、添加剤による人体への健康影響は、免疫系にも広がり、アレルギーや肥満などの慢性疾患との関係も指摘されている。

生態系への影響

食物連鎖を通した高次栄養段階生物への移行

バックグラウンド汚染が低くプラスチック以外の経路からの有害化学物質の曝露が少ない離島や遠隔地に、高濃度に有害化学物質を吸着したプラスチックが運ばれている。海鳥へのPCBsの曝露の研究では、バックグラウンド汚染が低いベーリング海でプラスチック摂食経由の寄与が確認された。
（Yamashita et al., Marine Pollution Bulletin, 2011）

汚染が少ない地域でも生物の体内から有害物質が見つかる POPsの長距離移動

南シナ海北部海域に生息する5つの動物プランクトングループによるMPの摂取の調査では、生態学的地位があがるほどMPとの遭遇率が増加していることが判明。MPは食物網に沿って移行していることが示唆された。
（Sun et al., Marine Pollution Bulletin, 2017）



北太平洋中央循環で捕獲された魚 670 匹のうち 35% が微細なプラスチック片を含んでおり、魚の体長が大きくなるにつれて、摂取されるプラスチック片の平均数が増加する傾向が見られた。
（Boerger et al., Marine Pollution Bulletin, 2010）

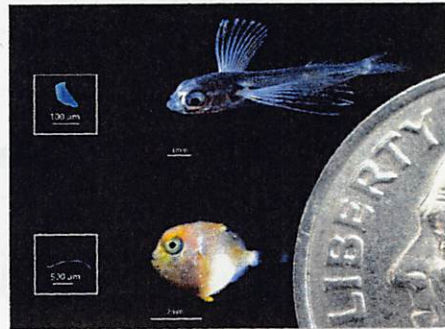
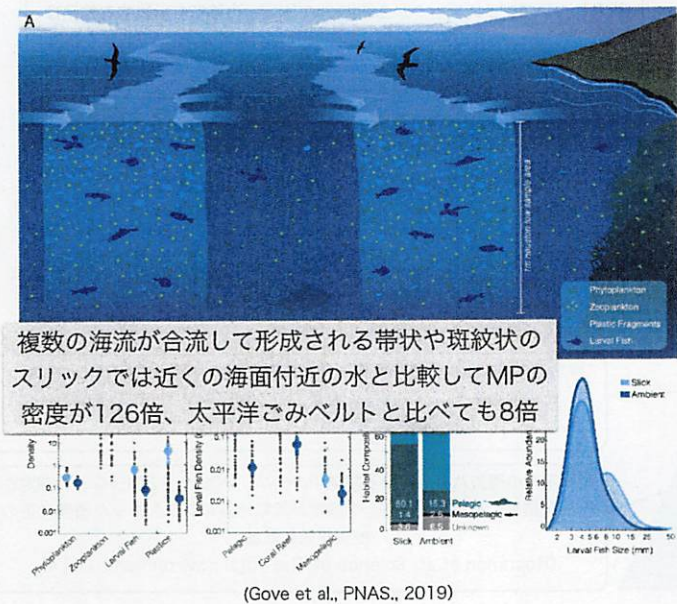
海洋での調査、実験室での検証で食物連鎖による濃縮が報告

魚の幼生はMPを餌と間違えて食べてしまう。魚の幼生はMPに対処するための体の仕組みがまだ十分に発達していないため、場合によっては死に至ることも。
（Oona et al., Science, 2016）

MPを摂取した動物プランクトンをアミ類に給餌する実験では、アミ類の腸に動物プランクトンと球状MPの存在が示された。
（Setälä et al., Environmental Pollution, 2014）

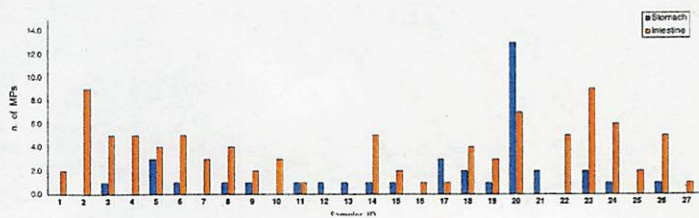
イラスト出典：環境省 POPs

魚の幼生はマイクロプラスチックを餌と間違える



スリックに含まれるMP片と仔魚の数は、7対1でMPの方が多く、そこに住む数百匹の仔魚を解剖したところ、多くの胃の中にMPが存在することが明らかになった。スリックではない海面付近の水にいる仔魚の2倍以上のMPが発見された。仔魚では摂取したMPに対処するための体の仕組みがまだ十分に発達しておらず、1片のプラスチックを飲み込んだだけで死んでしまう可能性もある。

海底のエビがマイクロプラスチックをさらに微細化するとの研究結果

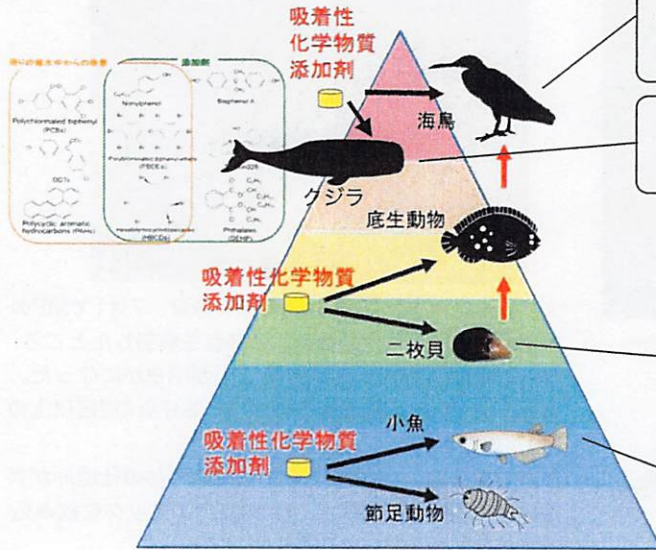


海底に住むヨーロッパアカザエビがMPを食べることや、実験室の環境では海底よりも浅い海に住む別の種類の甲殻類がMPを食べて微細化することが過去の研究で判明していたが、実際の海洋環境で同様のことが確認された。

ヨーロッパアカザエビの消化器官の内容物を調べたところ、腸内のMPは胃内のMPよりもはるかに細かく、量も多いという結果に。ヨーロッパアカザエビは胃に胃咀嚼器を持っており、粒子の大きなMPは胃にとどまってすりつぶされてから腸に送られ、排泄されるとみられる。このようにして生成される「二次的」なMPは深海でのプラスチック分解に重要な役割を果たす一方、より小さな生物に影響を与える可能性も考えられる。

(Cau et al., Environ. Sci., 2020)

摂食プラスチックから生物組織への化学物質の移行・蓄積 200種以上の生物が摂食



イラスト出典：環境省（一部変更）

海鳥についてプラスチックから脂肪への PCBs の移行を示唆する結果は 1980年代から報告されており、世界15海域の海鳥35種150個体の調査では、43%の個体でプラスチック添加剤の脂肪への蓄積が確認された。
(高田秀重 教授, 廃棄物資源循環学会誌 Vol.29, 2018)

摂食プラスチックから添加剤(フタル酸エステル)の代謝産物 (MEHP) がクジラの組織へ蓄積したと報告。
(Fossi et al., Marine Environmental Research, 2014)

低次・高次栄養段階の生物どちらも、摂食プラスチックから生物組織への化学物質の移行・蓄積が確認されている

韓国沿岸域では、発泡スチロールから難燃剤の一種HBCDが検出され、その発泡スチロール表面に棲息する二枚貝中からHBCDを検出。
(Jang et al., Environ. Sci. Technol, 2016)

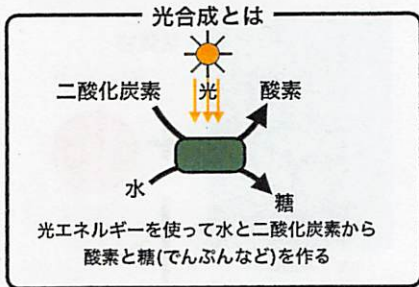
南太平洋の環流ハダカイワシ組織中のBPA、PCBs、PBDEsなどの測定を行った結果、高臭素 PBDEs の濃度が採取地点のプラスチック密度に正の相関が見られた。
(Rochman et al., Science of The Total Environment, 2014)



4. マイクロプラスチックの 除去・回収技術研究と社会実装

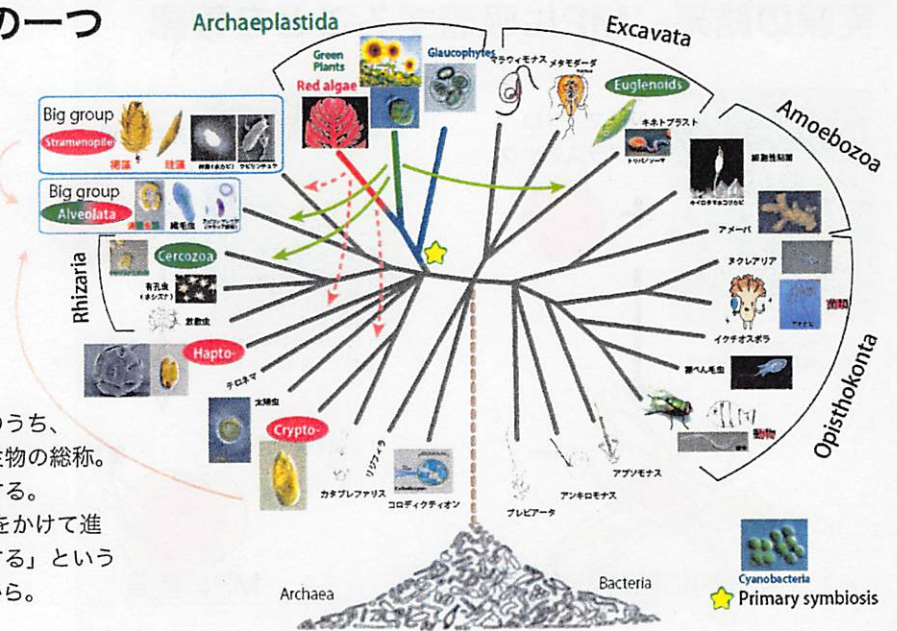
藻類とは

光合成ができる生き物の一つ



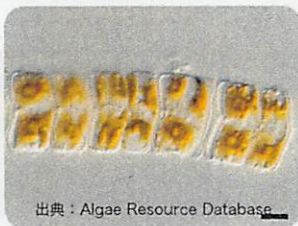
藻類とは、酸素発生型光合成を行う生物のうち、コケ植物、シダ植物、種子植物を除いた生物の総称。原核生物にも、真核生物にも藻類が存在する。「藻類」の定義が曖昧な理由は、30億年をかけて進化したバラバラな生物群を、「光合成をする」というカテゴリーでくくったときの総称であるから。

光合成ができる生き物たち



試した藻類

様々な藻類でMPに吸着するか実験



珪藻



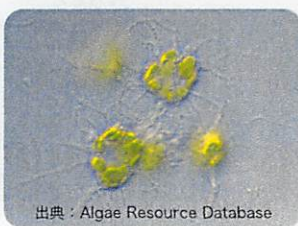
藍藻



ユーグレナ



緑藻 クラミドモナス



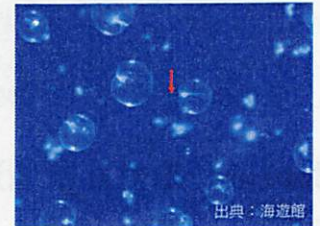
クロララクニオ藻



接合藻 ミカツキモ



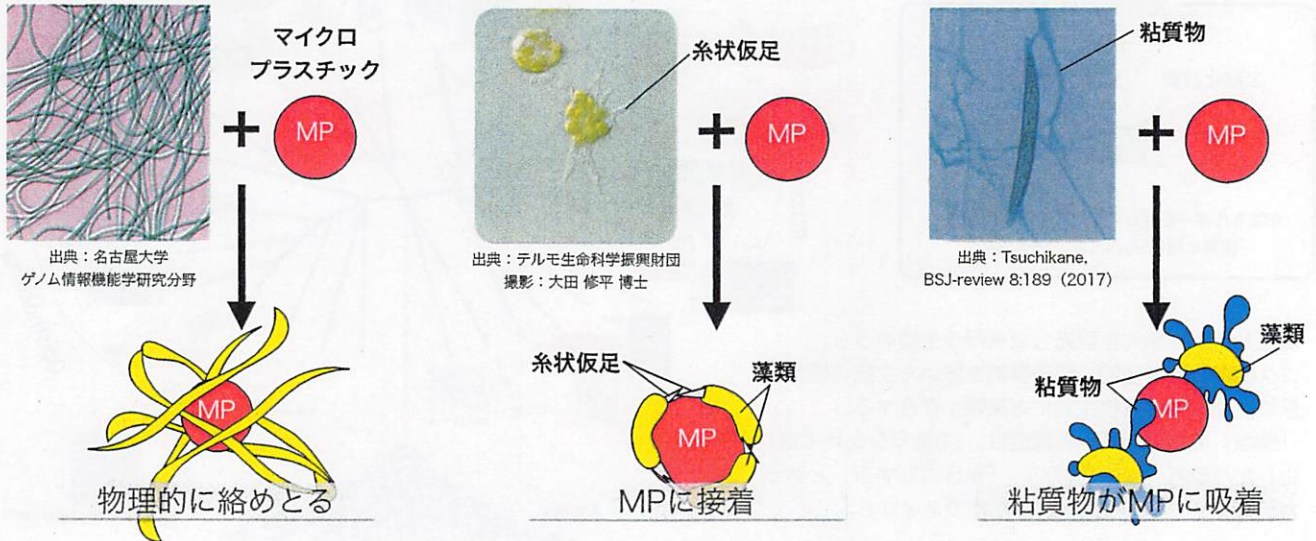
褐藻



渦鞭毛藻 ヤコウチュウ

微細藻類によるMP吸着能力

実験の結果、MPに吸着することを確認



27

特許技術詳細

Appendix

マイクロプラスチック吸着回収能を有する藻類

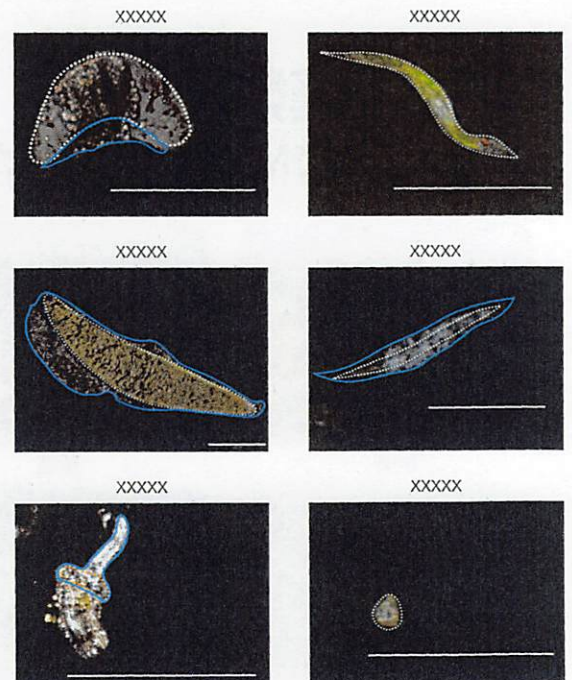
珪藻・藍藻・渦鞭毛藻などを含む多数の藻類において、7,000 cells/mlに調整した培養液に、MP被処理水を混和後、1day静置した状態でMP回収率が10~40%に及ぶことを確認、懸濁等で回収率は最大90%

微細藻類の粘着性多糖類

微細藻類は細胞外に様々な粘質物を放出する。その大部分が多糖類であり、例えばテングサなどの紅藻類であればアガロースやポルフィラン、コンブなどの褐藻類であればアルギン酸やフコース含有多糖といった物質である。これらの粘質物がMP吸着に関わる。

微細藻類の多孔性構造

微細藻類は形状もサイズも様々だが、表面積の大きな多孔性藻類や、糸状の群体を形成する物が存在する。このような構造にMPをかからめとる機能がある。

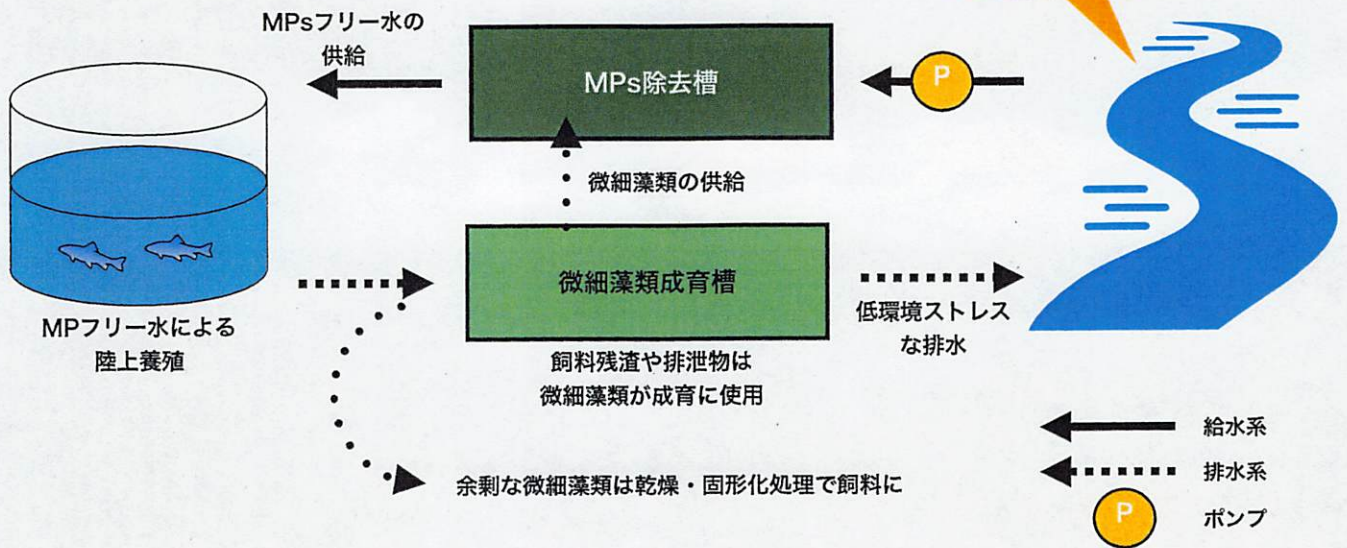


様々な藻類とその構造及び分泌する粘着性多糖類
左: scale bar=100 μm 右: scale bar =50 μm
White dot line & orange dot line =細胞表面, Blue line =粘質物境界

28

MP除去槽の概要

プロジェクト進行中の陸上養殖を例に



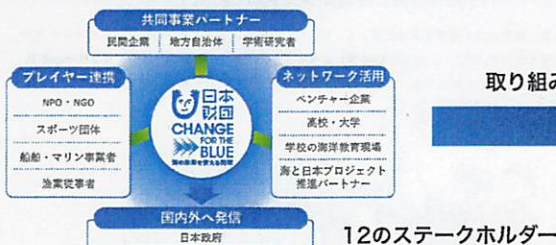
日本財団 「CHANGE FOR THE BLUE」

CHANGE FOR THE BLUEとは

日本財団 CHANGE FOR THE BLUE 海の未来を創るプロジェクト

2018年11月27日発足
事業規模 3年間で50億円の見込み

“これ以上海にゴミを出さない”という社会全体の意識を高めるムーブメントを起こすため、産官学民からなる12のステークホルダーと連携し、海洋ごみの削減モデルを作り、国内外に発信するプロジェクトです。



取り組みの例

	環境省 Ministry of the Environment	日本財団×環境省「海洋ごみ対策プロジェクト」 海洋ごみ削減に向けたアクションと、モデルケースの策定と国内外への発信を目指す
	一般社団法人ALLIANCE FOR THE BLUE	多業種企業が加盟するプラットフォームでの共同研究・実証実験 石油化学や日用品・食品・包装材メーカー、小売、リサイクル業界等、プラスチックバリューチェーンの上流から下流の各過程で一貫した対策を図る
	PROJECT IKKAKU	JASTO (一般社団法人日本先端科学技術教育人材研究開発機構) / 株式会社リバネス 海洋ごみ削減を実現するビジネスを創出する「プロジェクト・イッカク」 異分野の専門家たちが集結し、共創的なアプローチで社会実装を目指す
	東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO	海洋プラスチックごみに関する研究・対策 科学的根拠に基づいた情報を国民に正しく伝える

これ以上、海にゴミを出さない

CHANGE FOR THE BLUE

チーム

- 自立分散ごみ処理システムの開発
- 亜臨界処理班によるごみ処理
- 生物処理班によるプラスチック処理
- 3年1億5000万円のプロジェクト

PROJECT
IKKAKU

VISION TEAM COMMUNICATOR NEWS CONTACT JP | EN

TEAM
02

▶ごみの再資源化
自律分散ごみ処理システムの開発

[チーム名]
Decentralized Energy

[リーダー]

[サブリーダー]

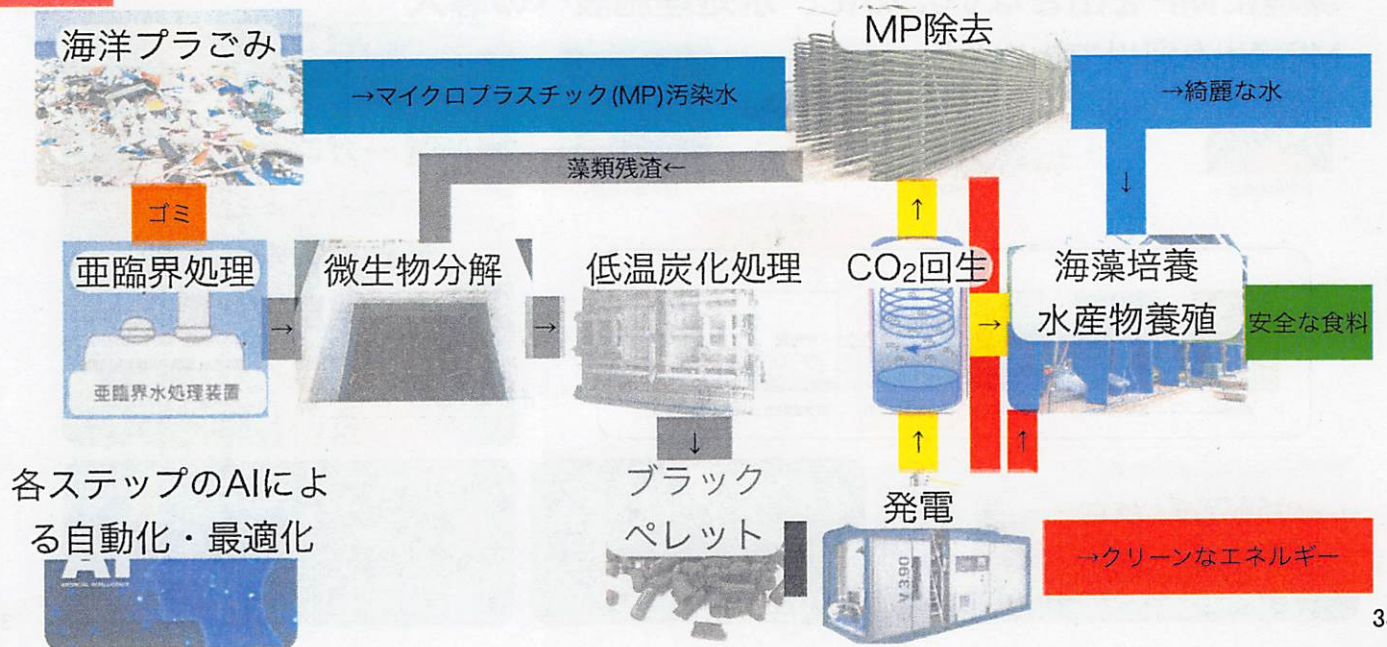
自律分散ごみ処理システムの開発

分別不要かつ自律分散型のごみ処理装置を開発する。第一に、亜臨界水処理と炭化処理を組み合わせた移動型システムの実証を目指す。第二に、生物学的処理によってごみ残渣のマイクロプラスチックフリー化を目指す。処理物はペレット化し燃料とする、あるいは、メタンガス発酵し、バイオガス発電によって電力を得る構想だ。



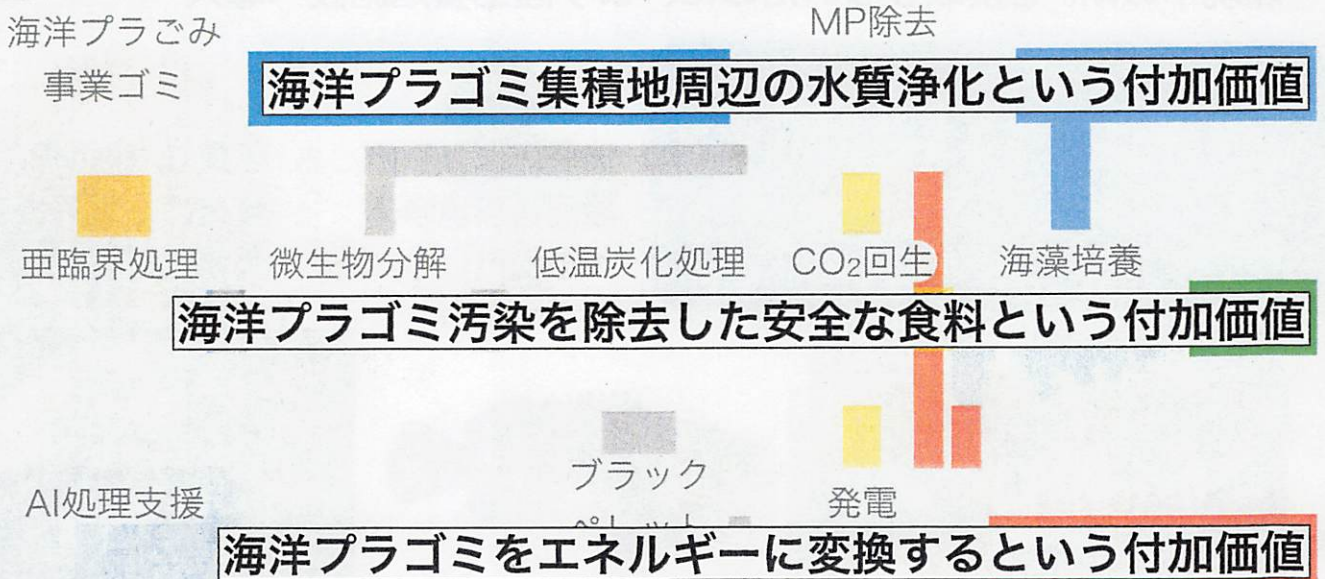
31

海洋プラゴミからクリーンなエネルギー・水・食料を



33

ビジネスモデル：付加価値創造型SDGs事業

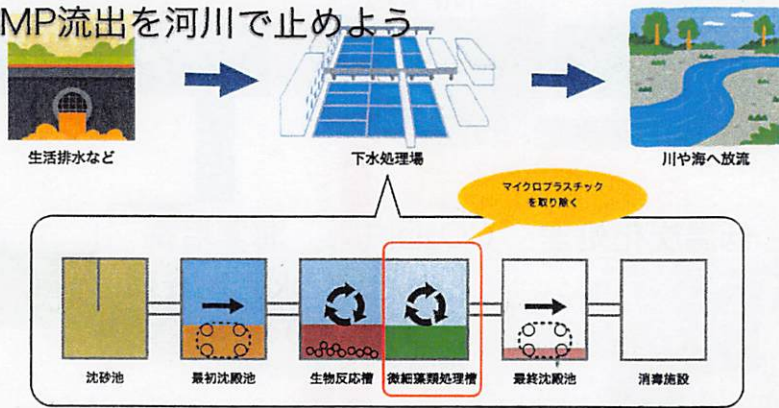


34

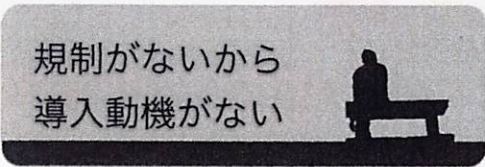
MPのない世界を目指して

環境にMPを出さないために、水処理施設への導入

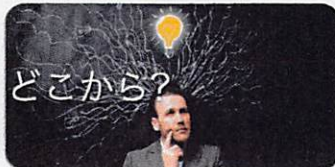
MP流出を河川で止めよう



オーガニックフードのように妊婦・乳幼児へ安全・安心な水産物を提供



規制がないから導入動機がない



どこから?



MP規制で一斉導入
ダイオキシンの時は
1兆円市場(日本)に

社会実装への道筋

環境中のMPを摂取しないために、まず陸上養殖施設へ導入

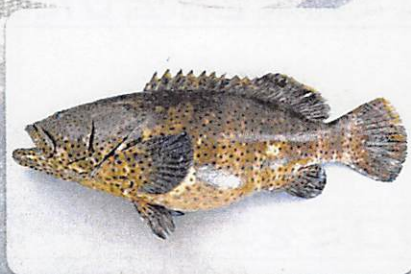
陸のオーガニック農産物に相当する
Non-microplastic seafood
Safe and secure seafood
をMP処理槽完備の陸上養殖で

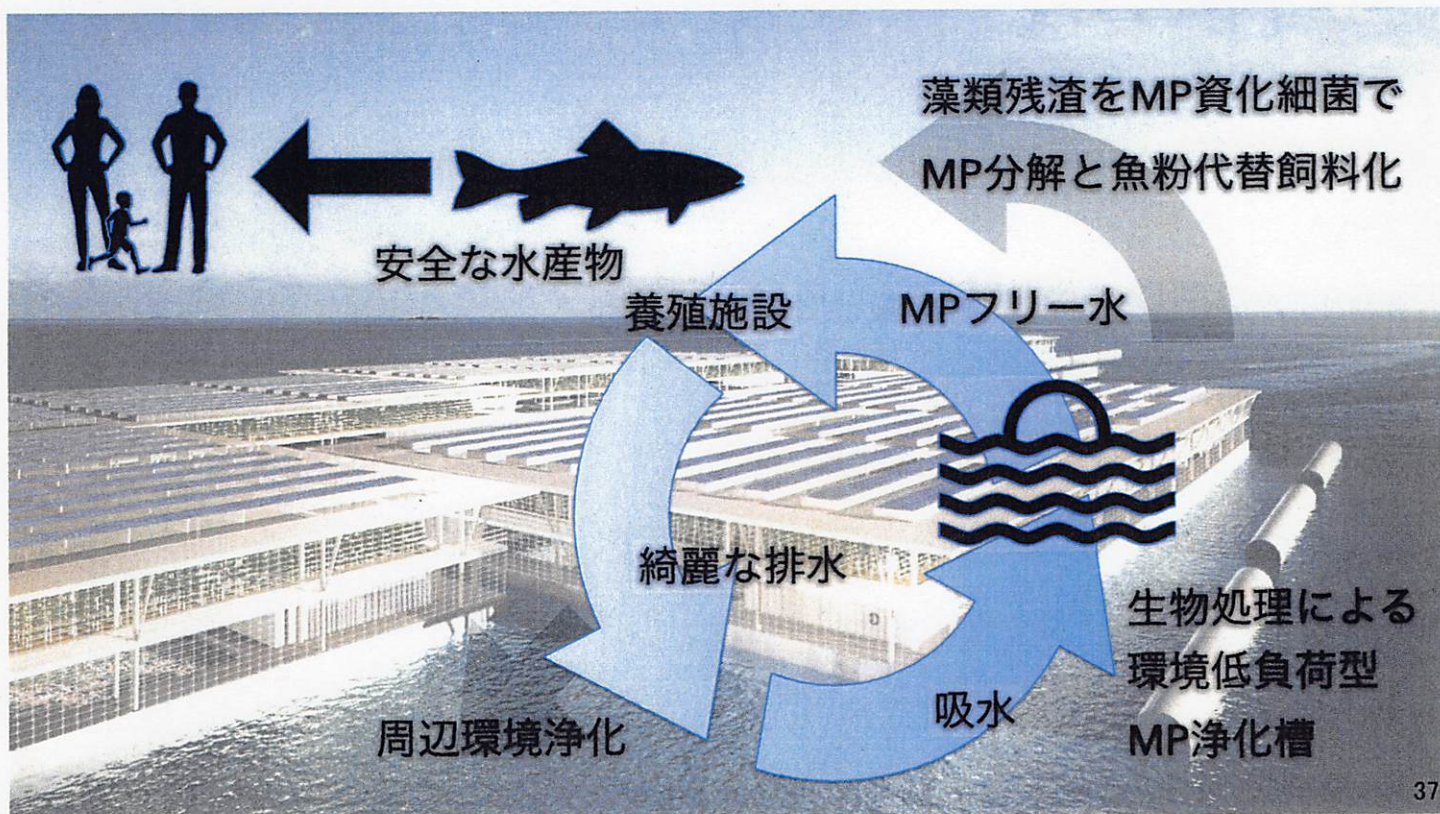


消費者は養殖施設周辺環境浄化への貢献にも



藻類残渣はMP資化菌で分解後魚粉代替飼料へ





37

ぜひ一緒に取り組みましょう

小倉淳
aogu@whelix.info



38