A close-up, high-magnification photograph of a teal-colored microfiber fabric. The image shows a dense, repeating pattern of small, raised, cylindrical fibers that create a textured, three-dimensional surface. The lighting highlights the individual fibers, giving the fabric a soft, tactile appearance.

マイクロファイバー： 繊維製品による 見えない環境汚染

発生源、分布、対策
2022年2月

MUFGファースト・センティア
サステナブル投資研究所

目次

本研究所について	1
本研究所のスポンサーについて	2
エグゼクティブ・サマリー	3
マイクロファイバーの放出経路と要因	4
マイクロファイバー汚染の低減方法	6
マイクロファイバーのライフサイクル	7
はじめに	8
マイクロファイバーの定義と種類	9
問題の範囲	10
問題をもたらすマイクロファイバーの特性	11
経路と各種課題	13
繊維製品の製造	14
繊維製品のメンテナンスと使用	15
繊維製品の組成と織り方	16
排水処理	17
対策	18
対策(1): 繊維の抜け落ち率に対する規制	19
対策(2): 洗濯機のマイクロファイバーフィルター使用	21
対策(3): 繊維製造におけるマイクロファイバー放出の抑制	23
対策(4): 排水処理時のマイクロファイバー除去力の改善	24
まとめ	25
付録	26
付録1: 内部で算出した推定値	26
付録2: マイクロファイバーに関する既存および提案されている法令	28
付録3: マイクロファイバー汚染対策とサステナブルファッションに関連する活動を行う非政府組織 (NGO)	29
Endnotes	30

本研究所について

MUFGファースト・センティア サステナブル投資研究所 (以下 研究所) は、サステナブル投資を推進するテーマに焦点を当てたリサーチ情報の提供を目指している。研究所における調査は、三菱UFJフィナンシャル・グループ (以下 MUFG) の連結子会社である三菱UFJ信託銀行と、資産運用会社ファースト・センティア・インベスターズ (以下 FSI) が協働で支援している。

MUFGとFSIは、投資家として共通の社会的責任の理念のもと、自らの意思決定が現在および将来のコミュニティに及ぼす影響を考慮して投資判断を行うことが重要だと考える。

そうした考えから、研究所では環境、社会、ガバナンス (ESG) に関する調査を外部機関と協働し、特定のテーマをさまざまな視点から掘り下げて考察していく。今や、投資家はサステナビリティやサステナブル投資を巡る問題について、これまで以上に掘り下げ、焦点を絞って熟考するようになってきている。これらの問題は複雑で、原因を解明するには詳細な分析が必要となる。投資家として問題の原因をより深く理解できれば、数々の投資判断に対してより適切な意思決定を行い、環境と社会のためにポジティブな変化を促し、自らの影響力を活かすことができるであろう。

本研究所は、MUFGの連結子会社である三菱UFJ信託銀行と、FSIが協働で支援しており、両社は研究所の活動に資金等を提供している。

また、研究所では、サステナビリティおよびサステナブル投資に関連する研究について助言を行うアカデミック・アドバイザー・ボードを設置している。アカデミック・アドバイザー・ボードは、責任投資、気候科学、ESGの分野で活躍する学術界、産業界、非政府組織の著名なリーダーで構成され、研究所のリサーチ結果が最高水準の学術レベルを満たすよう、独立した監督機能を果たしている。

ご連絡先

Institute@Firstsentier.com
www.firstsentier-mufg-sustainability.com
www.mufg-firstsentier-sustainability.jp

謝辞

研究所は、本報告書の執筆者であるChronos SustainabilityのElla Harvey氏、Rory Sullivan博士、Nicky Amos氏に感謝する。

また、ご協力いただいた英国の海洋保護協会のLaura Foster博士、並びに国際環境保護団体ファウナ&フロラ・インターナショナル、マイクロファイバー・コンソーシアムにも感謝の意を表したい。

Chronos Sustainabilityについて

研究所は、本調査書の作成をChronos Sustainabilityに委託した。2017年に設立されたChronos Sustainabilityは、複雑なシステムと効果的なマルチステークホルダー・パートナーシップに関する専門性の高い分析を行うことで、主要な産業セクターの社会・環境面のパフォーマンスに変革をもたらし、システム的な変化を実現することを目指している。また、全世界の投資家およびグローバルな投資家ネットワークと幅広く協働し、サステナビリティ関連の問題が投資に及ぼす影響について理解を深めるとともに、投資調査や活動にサステナビリティの要素を導入するためのツールや戦略を開発している。詳細はこちらを参照されたい。

www.chronossustainability.com
Twitter: @ChronosSustain

本研究所のスポンサーについて



ファースト・センティア・インベスターズ

ファースト・センティア・インベスターズ (旧ブランド:ファーストステート・インベストメンツ) は、クオリティの高い長期的な運用戦略をお客様に提供する、グローバルな資産運用グループである。当グループは独立したスペシャリスト運用チームを擁し、責任投資とスチュワードシップの原則が経営全般および企業文化に不可欠だとの考えから、チーム全体でこれらの原則に対するコミットメントを共有している。

また、インハウス運用チームまたは独立ブランド運用チームの区別なく、全ての運用チームは投資の自主性を確保し、各自の運用哲学を実践している。

<https://www.firstsentierinvestors.com>



MUFG

三菱UFJフィナンシャル・グループ (MUFG) は、世界有数の金融グループである。東京に本社を構えるMUFGは360年以上の歴史を誇り、世界50ヶ国以上約2,600ヶ所のグローバルなネットワークを有する。従業員数は18万人以上にのぼり、銀行、信託、証券、クレジットカード、コンシューマーファイナンス、資産運用、リースなどの金融サービスを提供している。MUFGは、傘下の事業会社間の密接な連携と顧客のあらゆる金融ニーズへの柔軟な対応を通して「世界で最も信頼される金融グループになる」ことを目標としており、社会に貢献するとともに、より良い世界に向けて共有可能かつ持続可能な成長を促進している。MUFGの株式は東京、名古屋、およびニューヨークの各証券取引所で取引されている。

<https://www.mufg.jp>

三菱UFJ信託銀行

三菱UFJ信託銀行はMUFGの中核企業として、業界をリードする専門性の高い独自の機能を活かし、顧客に幅広い総合的な金融ソリューションを提供している。金融ソリューションには、銀行業務に加えて、不動産、証券代行、資産運用・資産管理サービス、相続関連業務などが含まれる。当行は「安心・豊かな社会」「お客さまとともにある未来」を創造する信託銀行というビジョンの実現を目指している。「Trust (信頼・信託)」を通じて顧客と社会の課題をサポートすることで、新たなキーコンセプト「安心・豊かな社会を創り出す信託銀行: Create a Better Tomorrow」を構築していく。三菱UFJ信託銀行は、2019年8月にファースト・センティア・インベスターズを買収した。

<https://www.tr.mufg.jp>

エグゼクティブ・サマリー

天然繊維、合成繊維、半合成繊維など、すべての繊維はマイクロファイバーを放出する

「マイクロファイバー」は、抜け落ちた非常に小さな繊維であり、その一部は自然環境へと入り込む。マイクロファイバーは、深海、海岸、河川、大気中、さらには動物、植物、ヒトの食物からも検出されている。こうした中、マイクロファイバーが環境と健康に及ぼす影響について急速に懸念が深まっている。

毎年、推定0.48-4.28百万トン (MMT) の合成繊維および天然繊維のマイクロファイバーが自然環境に流出している可能性がある (内部推定値。図表1、付録1参照)。これまでに自然環境に蓄積された合成繊維のマイクロファイバーは5.6MMTを超えると見積もられている¹。

既存の研究は主に洗濯時に合成繊維から抜け落ちるマイクロファイバーに焦点を当てているため、調査範囲を拡大すれば、この数値はさらに拡大する可能性がある。なお、本報告書では、入手可能なデータを集約して、読者にマイクロファイバー汚染を取り巻く状況について広く理解して頂くことを意図している。(図表1および付録1)。

マイクロファイバー汚染による環境と健康への懸念が深まっているにもかかわらず、マイクロファイバーの放出はほとんど規制されていない²。さらに、世界で消費される繊維量の増加に伴い、自然環境に流出するマイクロファイバーの量も増加が予想される。世界の年間繊維生産量は2020年の109MMTから、2030年までに約33%増の146MMTになると見積もられている³。

マイクロファイバーによるヒトと環境への影響が問題視される主な理由として、以下の3点が挙げられる。

(1) 自然環境における幅広い分布

マイクロファイバーは世界中に遍在し、非常に小さく、低密度である。そのため、伝搬が容易であることから、地球上の**ほぼすべての生息地で検出されている**。

だが、マイクロファイバーは自然環境に均一に分散しているわけではない。例えば、地中海は他の海域と比較してマイクロファイバー濃度が高いことが分かっている。こうした汚染率や濃度の地域差は、マイクロファイバー汚染の影響とその解決策を考える際に重要な意味を持つ可能性がある。

(2) 生分解性の低さ

自然条件下における合成繊維の生分解は、ゆっくりとしかなされない^{4,5}。その結果、マイクロファイバーは自然環境に蓄積されることになる。こうした生分解性の低さは、マイクロファイバーが以下の問題を引き起こす恐れがあるとして問題視されている。

- 病原体の温床となる問題⁶
- 金属やその他の化学物質のように、汚染物質の濃縮源として作用する問題^{7,8}
- 海洋生物相が餌と間違えて摂取してしまう問題

マイクロファイバーが生物に摂取されて食物連鎖に入り込むと、最終的にヒトの食物を汚染する可能性がある。マイクロファイバーは、ボトルウォーター、水道水、ビール、塩、貝類、魚類、鳥類、野菜、果物に含まれていることが確認されている。ヒトは年間7.5~12万個のマイクロファイバー粒子を摂取または吸い込んでいると推定され、これは例えばペーパークリップ1個分に相当する (1千個のマイクロファイバーがおおよそ1mgに相当すると仮定⁹)。

(3) 環境および人体への影響

これまで大半の研究は一般的な調査が中心であり、海洋生物やヒトによるマイクロファイバーの摂取や吸引がもたらす深刻な影響については広範な研究が行われていない。だが、海洋生物の場合、マイクロファイバーの存在が**内分泌かく乱作用、有毒性、腸閉塞、繁殖力の低下、死亡**と関連があることがわかっている^{10,11,12}。ヒトの場合、大気中のマイクロファイバーの吸引は肺疾患を含む呼吸器系の合併症と関連があるとされている¹³。

マイクロファイバーが生態系やヒトの健康に与える長期的な影響も十分に解明されていない。例えば、海洋食物連鎖の底辺における繁殖率の低下や死亡が海洋個体群にカスケード効果をもたらす危険性や、汚染された魚介類に対する消費者の意識が(消費者需要の縮小などを通じて)水産業にどのような影響を及ぼすのかなどは依然不透明なままである。

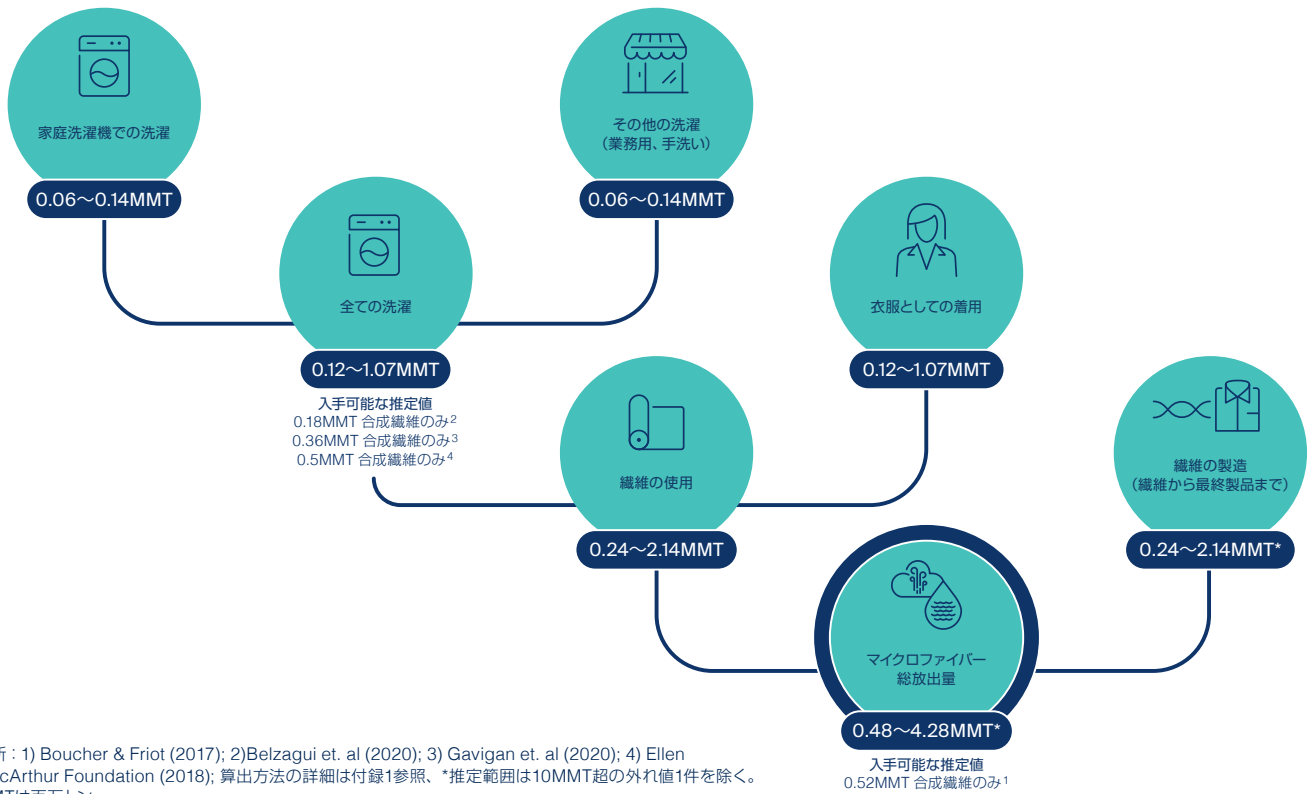
エグゼクティブ・サマリー

マイクロファイバーの放出経路と要因

繊維製品や衣料品は、製造時、使用時（洗濯・乾燥）、廃棄時というライフサイクル全体を通じてマイクロファイバー汚染の一因となる¹⁴。

さらなる研究を行うことで、繊維製品のライフサイクルにおけるマイクロファイバー放出の実態が浮き彫りになるだろう。以下の図表1では、既存の文献に掲載されている推定値と、既存の知見に基づいて内部で算出した推定値をまとめている。

図表1：繊維製品のライフサイクルにおける世界のマイクロファイバー放出量（合成繊維と天然繊維を対象に算出した内部推定値）
データが入手可能な場合は、既存文献の推定値を引用



出所：1) Boucher & Friot (2017); 2) Belzagui et. al (2020); 3) Gavigan et. al (2020); 4) Ellen MacArthur Foundation (2018); 算出方法の詳細は付録1参照、*推定範囲は10MMT超の外れ値1件を除く。MMTは百万トン。

一部で定量的なデータに乏しい地域があるものの、繊維製品に関連するいくつかの個別要因がマイクロファイバー汚染を引き起こすことが確認されている。これらの要因を理解することで、戦略的にマイクロファイバー汚染の低減に取り組むことが出来るであろう。マイクロファイバー汚染をもたらす要因として、以下が挙げられる。

- 1) 繊維製品の製造工程
- 2) 繊維のメンテナンスと使用
- 3) 繊維の組成と織り方
- 4) 排水処理

1. 繊維製品の製造工程

染色、プリント加工、仕上げ加工における研磨工程を背景に、繊維・衣服の生産段階ではマイクロファイバーが放出される¹⁵。

繊維生産によるマイクロファイバーの放出は十分に研究されていないが、マイクロファイバー汚染全体のかなりの部分を占めると考えられている^{15,16}。実際、繊維生産時には繊維使用時と同数のマイクロファイバーを放出しているとの指摘があり¹⁶、生産中に繊維量の10~15%をマイクロファイバーとして放出している可能性があるという¹。

マイクロファイバーの放出経路と要因

繊維のメンテナンスは、洗濯・乾燥時に化学的および機械的摩耗により繊維からマイクロファイバーが抜け落ちるため、マイクロファイバー汚染の一因となっている¹⁷。

2. 繊維のメンテナンスと使用

繊維を洗濯することで、年間0.12~1.07MMTの天然マイクロファイバーおよび合成マイクロファイバーが放出されている（内部推定値。図表1および付録1参照）。

洗濯のたびに抜け落ちるマイクロファイバーの数量の推定値は、70万¹⁸~150万¹⁷、さらには700万本⁶⁹とも言われ、調査により大きく異なる。また、1回の洗濯で約0.5~1.3gのマイクロファイバーが抜け落ちると見積もられている¹⁹。

なお、洗濯によるマイクロファイバーの放出と比べ、マイクロファイバーの大気中への放出に関する研究は進んでいないものの、着用時には洗濯時と同量のマイクロファイバーが大気中に放出される可能性が指摘されている²⁰。

3. 繊維の組成と織り方

繊維の組成や織り方も、繊維の抜け落ち率に影響を及ぼす。例えば、綿や羊毛などの天然繊維は合成繊維よりも抜け落ちやすい傾向があり（図表2）、フリースなどフィラメント（長繊維）が多く露出している繊維も高密度織物より抜け落ちやすい傾向があると考えられる^{17,21}。

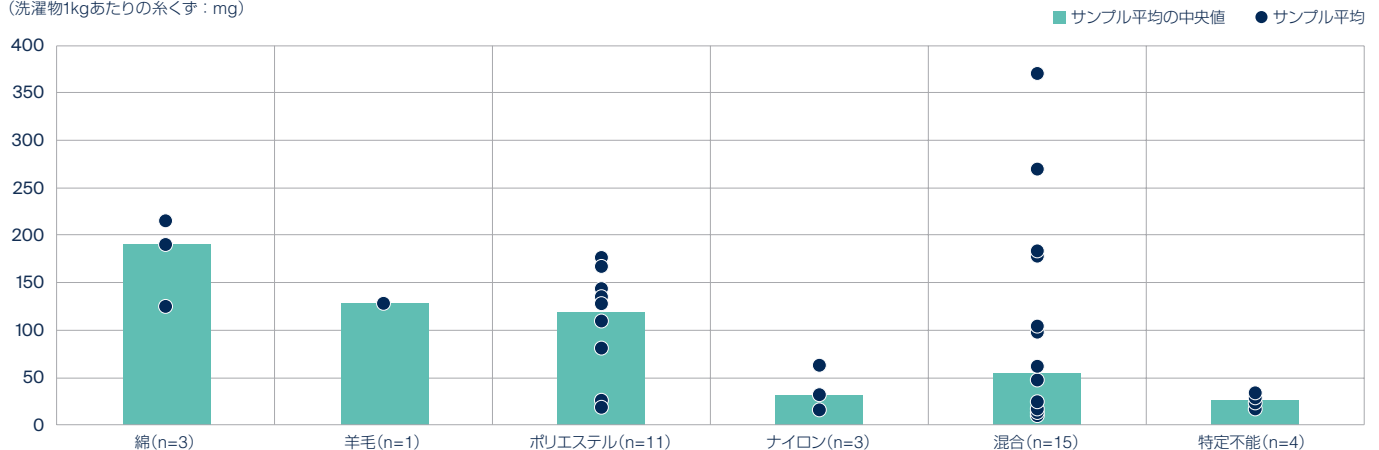
4. 排水処理

マイクロファイバーは、生活排水や産業排水を排水処理施設（WWTP）において処理することで、自然環境へ流出する前に除去できる。だが、排水処理施設のマイクロファイバーの除去率は、以下の複数の要因に左右される。

- **排水処理インフラへのアクセス:** WWTPのインフラを利用できるのは世界人口の3分の1以下であるため²²、世界の排水の80%は十分な処理が行われないまま自然環境にそのまま流されてしまっていると考えられる²³。
- **WWTPによるマイクロファイバーを含むマイクロプラスチックの除去率:** WWTPでの除去率は90%以上に及ぶことが多い^{19,24,25}ものの、現代の排水処理インフラは概して小さな浮遊粒子を除去する設計にはなっていない^{19,26,27,28}。
- **下水汚泥の農業用土壌への使用:** マイクロファイバーを下水汚泥中にとどめて排水から除去しても、必ずしも自然環境への流出を防ぐことはできない。なぜなら、下水処理中に副産物として生成される半固形状の下水汚泥は栄養価が高く有機物質に富み、欧米の多くの国で農業用肥料として幅広く使用されているからである^{26,29}。

図表 2：主要な繊維製品の抜け落ち率

繊維の抜け落ち
(洗濯物1kgあたりの糸くず：mg)



出所：Vassilenko et al. (2021)

個々のサンプルデータは、3回の洗濯で生じた糸くずの平均重量を表している。ここで表示はされていないが、全サンプルの標準偏差は1%~61%と広範囲にわたっている。カテゴリの中央値は、サブカテゴリ内のサンプル平均値に基づいて算出した。2つのサンプルの外れ値（ポリエステル繊維と混合繊維）は、チャートおよびカテゴリ中央値の計算の両方から除外した（ポリエステル繊維の洗濯物1kgあたりの糸くず：778mg、混合繊維の洗濯物1kgあたりの糸くず：838mg）。

マイクロファイバー汚染の低減方法

マイクロファイバー汚染を低減する最も効率的な方法は、そもそもマイクロファイバーが自然環境に流出することを防ぐ、つまりマイクロファイバーが形成される発生源に対策を講じることだ。

なぜなら、マイクロファイバーを自然環境から直接除去する技術が登場しつつある一方で³⁰、マイクロファイバーは非常に小さく軽量であり、多様かつ複雑な生態系の中に遍在しているため、直接除去のプロセスは極めて非効率的だと考えられているためだ。

マイクロファイバー汚染防止策は、**政府が義務付けることも、産業界が自主的に採用することも可能**である。さらに、**投資家は産業界と積極的に協力して、マイクロファイバー汚染防止策の自主的な採用を促進**することができる。

今後採り得る対策の中には、まずは業界共通の繊維試験基準を導入し、マイクロファイバーの抜け落ち率を測定することが必要となるものもある。だが、本報告書が作成された時点で、すぐに利用可能な業界共通の繊維試験基準は確立されていない。

繊維の抜け落ち率に規制が施行されるのは、遠い未来のことになるかもしれない。ただ、洗濯時にマイクロファイバーを除去する技術はすでに存在しており、消費者は手頃な価格で利用できる。こうした技術の導入は中期的にも長期的にも重要となるだろう。

- 中期的には抜け落ち率に関する規制がより広く導入されるまでの間
- 長期的には抜け落ちの少ない繊維が開発されるまでの間

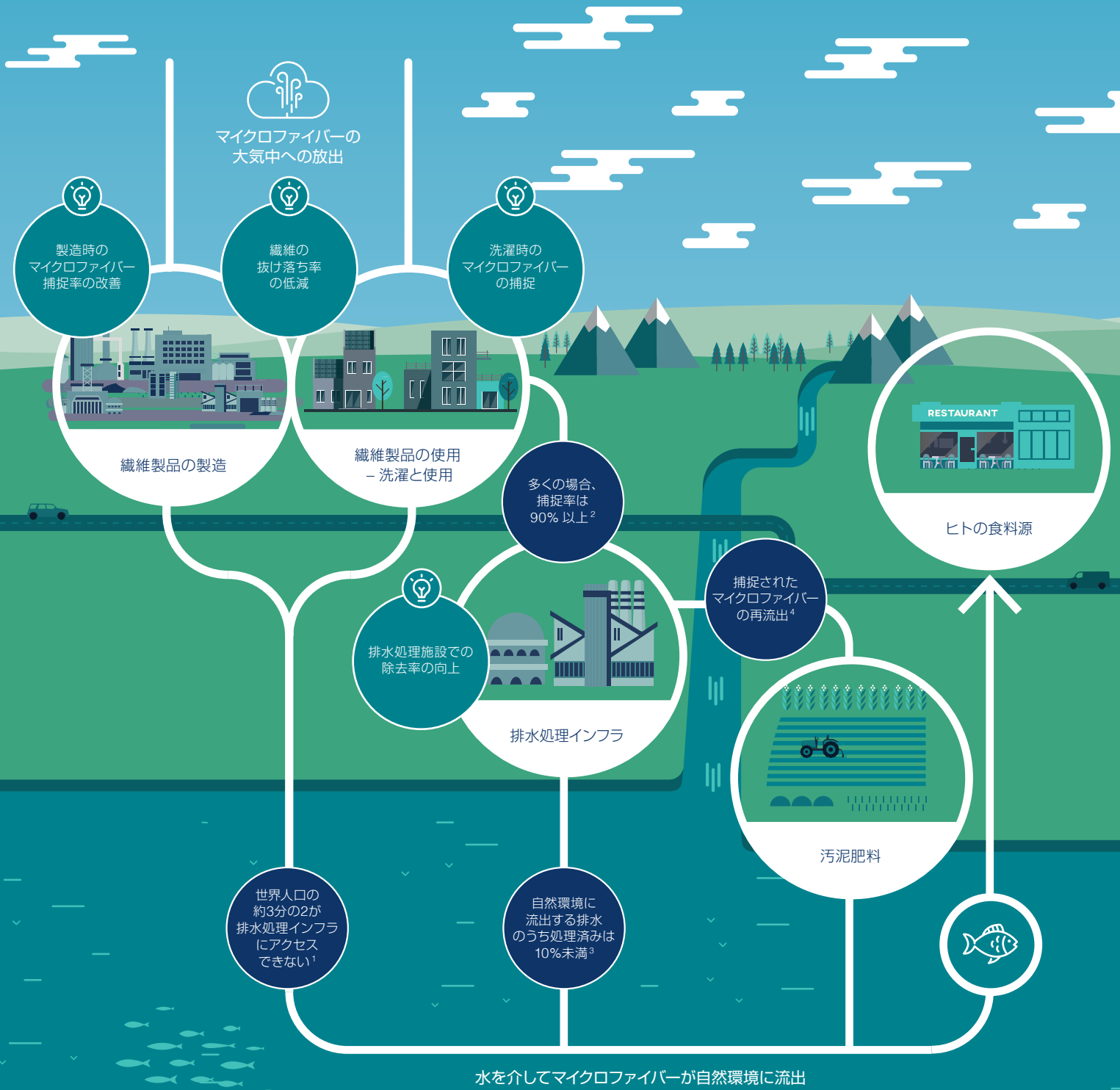
図表3：アクショングループ別の実行可能な対策の概要

対策	アクショングループ		
	政府&規制当局	産業界	投資家
(1) 繊維の抜け落ち率の規制	業界共通基準の試験と認定	研究グループとの協力による基準の開発	
	繊維の抜け落ち率の上限設定		繊維・衣料品のバリューチェーンにおける取り組み：1) 抜け落ち率の基準採用、2) 繊維の抜け落ち防止策の積極的な奨励。
	抜け落ちの多い製品に対する課税措置	抜け落ち率に対する自主規制の取り組み	
(2) 繊維製造時のマイクロファイバー放出の抑制	異なる繊維の抜け落ち率に関する製品ラベル表示義務		広範囲に及ぶ抜け落ち率の規制がバリューチェーンに及ぼす経済的影響を把握（研究開発コスト、バリューチェーンコストの増加など）。
	マイクロファイバーの放出を最小限に抑えるため、適切なベストプラクティスの採用を産業界に要求	生地・衣服の製造時にマイクロファイバーの放出を抑える措置を導入	
(3) 洗濯機におけるマイクロファイバーフィルターの使用	すべての新しい洗濯機にマイクロファイバーフィルターの内蔵を義務付ける法案の可決	フィルター内蔵の新しい製品ラインの開発、または既存の洗濯機に装着する後付けフィルターの開発	洗濯機メーカーと連携し、製品開発・商品化を促進
(4) 排水処理施設（WWTP）でのマイクロファイバー除去率の改善	既存のWWTPにおける三次処理・四次処理プロセスの導入、もしくは現在設置されていない地域でのWWTP建設。イニシアチブの資本集約度を鑑み、政府と規制当局が推進を主導		

マイクロファイバーのライフサイクル

この図では、マイクロファイバー汚染の主な発生源と分布のほか、考えられる汚染防止策を示している。

💡 考えられる解決策



出所：Eastern Charlotte Waterwaysより引用

1. Boucher & Friot (2017)
2. Prata (2018)
3. Prata (2018)に基づき算出
4. Nizzetto et. al (2016)

はじめに

マイクロファイバーが環境問題として最初に認識されたのは2000年代に入ってからのことであった³¹。それ以来、マイクロファイバーの発生源、分布、ヒトの健康および環境への影響についての研究が進められてきた。ただし、マイクロファイバー汚染がもたらす影響はまだ十分に解明されておらず、今後も継続的な研究が必要とされている。

マイクロファイバー汚染の長期的な影響については、いまだその全容を把握できていない。だが、マイクロファイバーへ長期間触れることは、ヒトと生態系の両方の健康に悪影響を及ぼすことを実証する十分な証拠が示されている。したがって、本報告書の目的として以下の2つを挙げる。

- 1) マイクロファイバー汚染の発生源とその影響に関して、すでに分かっている内容を整理する。
- 2) マイクロファイバー汚染低減のために政府、産業界、投資家が採り得る措置の範囲を概説する。

マイクロファイバーの定義と種類

マイクロファイバーの定義

マイクロファイバーとは、一般的に繊維製品または関連繊維製品から抜け落ちる天然または合成の微細繊維で、直径が50マイクロメートル以上、長さが1μm～5mm、直径に対する長さの比率が100以上のものと定義されている¹⁶。マイクロファイバーの直径は、人間の髪の毛の直径の約5分の1に過ぎない。

本報告書において、「マイクロファイバー」は天然繊維製品、半合成繊維製品、合成繊維製品から抜け落ちる繊維片のことを指す。

天然繊維と合成繊維の主な用途はともに衣料品であることから、衣料品がマイクロファイバーの主な発生源であると予想される⁹⁵。

ただし、現代生活における多様な繊維製品の用途を考慮すると、マイクロファイバーの発生源は以下をはじめ多岐に渡る^{32,96}。

- 衣料品
- 産業用繊維製品（カーペットなど）
- 家庭用繊維製品（寝具・家具、タオルなど）
- 自動車用繊維製品（シート生地など）
- ジオテキスタイル（建設工事で使用されるものなど）
- たばこ
- 釣り糸、漁網
- パーソナルケア製品

天然、合成、半合成の繊維製品を含め、すべての繊維製品からマイクロファイバーが抜け落ちる

「天然」繊維が植物や動物に由来するのに対して、「合成」繊維はプラスチックに由来する³²。両者の中間にあるのが「半合成」繊維と呼ばれるもので、人工的に製造されたセルロース（すなわち植物由来の）繊維である。

もともと半合成繊維は天然素材に由来するが、多数の化学処理が施されることから、一部では合成繊維と考えられている³³（図表4）。現在、合成繊維製品と半合成繊維製品は合わせて年間繊維生産量の3分の2を占めており³、コストを抑えるとともに、性能、快適性、手入れのしやすさなど望ましい特性を実現するために、天然繊維と混織されることが多い¹⁴。

図表4：繊維製品の種類

繊維の種類	例	定義
天然	綿 絹 羊毛	天然原料（植物、動物など）由来で最小限の加工を施した繊維
合成	ポリエステル ポリエチレン アクリル エラストン	プラスチック系繊維
半合成	ビスコース（レーヨン） アセテート リヨセル モダール	もともとは植物由来であるが、多数の化学処理を施し、人工的に生産された繊維

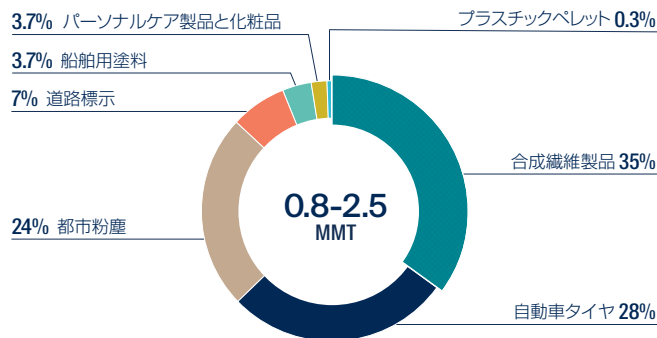
出所：Manshoven et al. (2021); Napper et al. (2020)

はじめに 問題の範囲

毎年0.48～4.28百万トン (MMT) の天然マイクロファイバーおよび合成マイクロファイバーが自然環境に流出している可能性があると思われており（内部推定値。図表8および付録1を参照）。2015年時点で、少なくとも5.6MMTの合成マイクロファイバーがすでに自然環境に存在していたと考えられている¹

合成マイクロファイバーは海洋中へのマイクロプラスチックの年間流出量の約35%を占めており（図表5）²²、深海堆積物に蓄積したマイクロプラスチックの70%以上にのぼることを示す証拠も存在する³⁴。マイクロプラスチック汚染がもたらす広範な問題をめぐる詳細については、当研究所がこのトピックに関してまとめた報告書『マイクロプラスチック汚染：その原因・影響と投資家にとっての課題』（2021年5月）を参照して頂きたい³⁵。

図表5：世界全体の一次マイクロプラスチック放出量から見た、合成マイクロファイバーの自然環境への推定年間放出量



出所：Boucher & Friot (2017)

マイクロファイバー汚染は、その危惧すべき特性にもかかわらず、まだほとんど規制されていない²。だが、対応を怠れば、繊維製品の消費量増加によってマイクロファイバー汚染が深刻化する可能性は高まるだろう。2030年までに世界の衣料品消費量は最大63%増加し、2017年に約62MMTであった年間生産量が、最大で102MMTに達する可能性がある³⁶。同様に、衣料品以外の繊維製品に使われる繊維を含めて、世界の年間繊維生産量は、2020年の109MMTから2030年までに33%増加して146MMTに達すると見込まれている³。

その結果、マイクロファイバーの自然環境への年間放出量は、2030年までに54%増加する（または、現在の年間放出量の内部推定値を考慮した場合は年間約0.5～6.0MMTに達する）との指摘もある³⁷。別の推計では、2050年までにさらに22MMTの合成マイクロファイバーが自然環境に放出される可能性があるとされている³⁸。これは、2050年までの今後30年間における年間放出量が一定であると単純に仮定した場合、年間約0.75MMTに相当する。

地理別にマイクロファイバーの発生と自然環境への流出を考察した場合、汚染全体への影響度が一部の国で突出して高いように見受けられる。中国、インドネシア、米国、スリランカ、インドが汚染発生源の上位国であるとの推計もある³⁹。

マイクロファイバー汚染への影響度がこれらの国で高い理由として、人口規模や繊維製品の消費パターンだけでなく、世界的な繊維生産におけるこれらの国の役割や、人口1人当たりの排水処理施設の整備状況が相対的に低水準であることも挙げられるだろう。例えば、中国は世界全体のポリエステル70%近くを生産しており、中国、インド、東南アジアを合わせると、ポリエステル生産量は80%以上を占める³⁹。

はじめに

問題をもたらすマイクロファイバーの特性

マイクロファイバーがヒトと環境に問題をもたらすのは、主に次の3つの理由からである。

1. 自然環境における幅広い分布

マイクロファイバーは世界中に遍在し、非常に小さく、低密度である。そのため、伝搬が容易であることから、地球上のほぼすべての生息地で検出されている。マイクロファイバーは、深海⁴⁰、海岸線⁴¹、北極海⁴²、湖・河川^{27,43,44}、土壌²⁶、山頂⁴⁵、大気中^{46,47}などで検出されている。

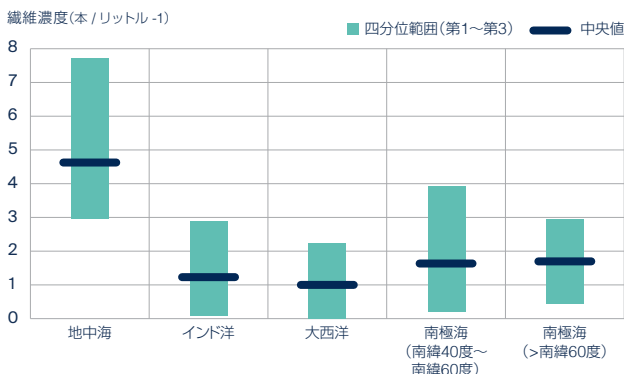
陸上生態系におけるマイクロファイバーの存在については、十分に研究されていない。ただ、マイクロファイバーを含んだ下水汚泥は肥料として使用されるため、農業用土壌を通じて陸上生態系に流入することは知られている²⁶。また、マイクロファイバーは、エベレスト山頂といった非常に遠く離れた過疎地でも確認されている⁴⁵。

マイクロファイバーが海洋環境に多く存在することは特によく知られている。例えば、

- インド洋では堆積物1平方キロメートルあたり、約40億本のマイクロファイバーが存在する⁴⁸。
- 北極海で確認されたマイクロファイバー汚染の90%以上は、合成マイクロファイバーによるものである⁴⁹。
- 海洋で最も多く検出される合成マイクロファイバーの種類は、ポリエステルである⁵⁰。

マイクロファイバーは自然環境に均一に分散しているわけではない。例えば地中海は、アジアや米国といったマイクロファイバー汚染の最大の流出ポイントの近くに位置していないにもかかわらず、他の水域と比較してマイクロファイバー濃度が高いことが分かっている(図表6)。こうした汚染の地域差は、マイクロファイバーの汚染や分布の影響をそれぞれの状況にあてはめて理解する上で、重要な意味を持つ可能性がある。

図表6：海域別のマイクロファイバー濃度



出所：Suaria et al. (2020)

各海域および流域で確認された繊維濃度(1リットル中の繊維数)の中央値と四分位範囲(第1～第3)。補正済みデータのみを表示。グラフでは外れ値(第1～第3四分位範囲を外れるサンプルデータと定義)は除外しているが、すべての海域において繊維濃度が最大11～14本/リットルのサンプルが確認された。

2. 生分解性の低さ

自然条件下におけるマイクロファイバーの生分解は、ゆっくりとしか進まない。その結果、マイクロファイバーは自然環境に蓄積されることになる^{4,5}。こうした生分解性の低さは、マイクロファイバーが以下の問題を引き起こす恐れがあるとして、問題視されている。

- 病原菌の温床となる問題⁶。
- 金属やその他の化学物質のように、汚染物質の濃縮源として作用する問題⁷⁸。
- 海洋生物相が餌と間違えて摂取してしまう問題。

マイクロファイバーが自然環境に長期間残留した場合、病原体や汚染物質の媒介となる可能性が高まるため、生物がマイクロファイバーを摂取すれば、その病原体や汚染物質を体内に取り込む恐れがある¹⁰。

繊維製品の生分解性は言わば、素材に含まれる必須栄養素に微生物がどれだけ容易に到達できるかによって決まる。天然繊維および半合成繊維は合成繊維よりも早いペースで生分解されることが分かっているが、さまざまな分子が自然環境で分解・断片化する速度についてはデータが限られているため、この領域におけるさらなる研究が必要である⁵¹。以下に例を挙げる。

- ポリエステル繊維は、実験環境と堆肥化環境の両方で、100日後もほぼそのままの状態に残存していた⁵²。
- 天然マイクロファイバーおよび一部の半合成マイクロファイバーは、一定の条件において数週間から数ヶ月で分解される場合がある^{4,5,53}。例えば天然繊維は、微生物や化学的・光化学的・機械的研磨力が存在する暖かく湿った環境下で、分解が進みやすい可能性がある⁵³。

しかし、さまざまな海域で確認されたマイクロファイバーの80%近くがセルロース系(すなわち、綿、リネン、レーヨンやビスコースなどの再生セルロース)であることを示唆する証拠がある⁹⁵。この調査結果は、自然環境における天然繊維と半合成繊維の残留期間が予想以上に長期に及び可能性を示唆している。

セルロース系繊維が自然環境に残留する理由の一つは、繊維製品には製造や生地加工に使用された化学物質が残留しているケースが多く、微生物にとって繊維の栄養価が低い可能性があるためである³⁸。しかし、これらの化学物質が他の素材の劣化をどの程度阻むのかは、まだ解明されていない。

はじめに

問題をもたらすマイクロファイバーの特性

3. 環境および人体への影響

マイクロファイバーは自然環境に流出すると、生物が容易に摂取してしまう。海洋環境では、甲殻類、貝類、動物プランクトン、魚類などの生物がマイクロファイバーを餌と間違えることが多々ある^{5,54,55}。実際、マイクロファイバーはその大きさと形状から、他の種類のマイクロプラスチックに比べて摂取される可能性が高いと考えられる⁵。例えば、一般的な熱帯魚の内臓で検出されたマイクロプラスチックの半分近くはマイクロファイバーであった⁵⁶。

マイクロファイバーはまた、食物連鎖に入り込み、最終的にヒトの食物を汚染する可能性がある。マイクロファイバーは、ボトルウォーター、水道水、ビール、塩、貝類、魚類、鳥類、野菜、果物に含まれることが確認されている^{57,58,59}。ヒトは年間3.9万～5.2万個のマイクロファイバー粒子を摂取し、3.5万～6.9万個の粒子（主に繊維）を吸い込んでいと推定されるが、これらは過小評価である可能性が高い⁶⁰。マイクロファイバー1,000本がおよそ1mgに相当すると仮定した場合⁹、摂取または吸引によって1年間にペーパークリップ1個分のマイクロファイバーを体内に取り込んでいることにほぼ等しい。

マイクロファイバーの摂取・吸引による海洋生物やヒトの健康への影響は、十分に研究されていない。その理由は、これまで大半の研究は一般的なマイクロプラスチックの影響を調査するもので、マイクロファイバーに焦点を当てていないためである。なお、これまでにマイクロファイバー汚染は以下との関連性が指摘されている。

- 腸閉塞など、摂取による物理的損傷。
- 化学物質の放出による毒性：合成繊維と天然繊維はともに、その特性を高めるための化学物質（柔軟剤、染料、酸化防止剤、可塑剤、紫外線安定剤、抗菌剤、しわ防止剤、難燃剤など）、または他の機能を提供する化学物質（綿花生産時の残留農薬など）を使用して製造されることが多い。これらの化学物質はマイクロファイバーから自然環境へと浸出し、摂取した生物の体内に入り込む可能性がある^{38,61,62,63}。

図表7：マイクロファイバーを摂取することで確認されているヒトへの影響

生物への影響

ミジンコや端脚類の成長、生殖、生存率の低下¹¹

魚の腸閉塞および栄養欠乏¹²

ムラサキイガイ、環形動物、カニなどの摂餌量の減少⁶⁴

カニの成長阻害⁶⁵

動物プランクトンの毒性および死亡率¹⁰

カニにおける摂取後の臓器への転座⁶⁶

毒性および内分泌かく乱作用⁶⁴

ヤムシ（動物プランクトン的一种）がマイクロファイバーを摂取して、腸内の餌の通り道が塞がれてしまっている様子



© Richard Kirby

マイクロファイバーが環境およびヒトの健康に及ぼす影響については、以下をはじめとするさらなる研究が必要であり、今後もマイクロファイバー汚染が深刻化していく場合は特に重要となる。

- マイクロファイバー汚染が海洋・漁業資源に与える影響について、さらなる研究が必要だと考えられる。例えば、動物プランクトンの死亡率や他の種の生殖機能障害は、マイクロファイバーが時間をかけて食物連鎖上でカスケード効果を引き起こす可能性を示唆している。
- マイクロファイバー汚染が関連する産業にどのような経済的影響を及ぼすかについては、現時点では不透明なままである。マイクロファイバーを通じた魚介類の汚染など健康に及ぼし得る影響について消費者の意識が高まると、水産業やその他の食品産業に悪影響を与える可能性がある。

ヒトへの影響

閉塞性肺疾患などの呼吸器系合併症¹³

内分泌かく乱作用およびがん（ビスフェノールA（BPA）によるもの）⁶⁷

経路と各種課題

繊維製品や衣料品は、製造時、使用時（洗濯・乾燥）、廃棄時というライフサイクル全体を通じてマイクロファイバー汚染の一因となる（図表8）¹⁴。マイクロファイバーが自然環境に放出される主な経路は、一般的に以下のように理解されている。

- 繊維製品の製造および洗濯で生じる排水
- 繊維製品の製造、洗濯、その他の繊維製品の使用に伴う大気への放出
- 不適切に廃棄された繊維製品およびジオテキスタイル（土木工事に使用される繊維シート）が土壌で分解されることによるマイクロファイバーの陸上への放出

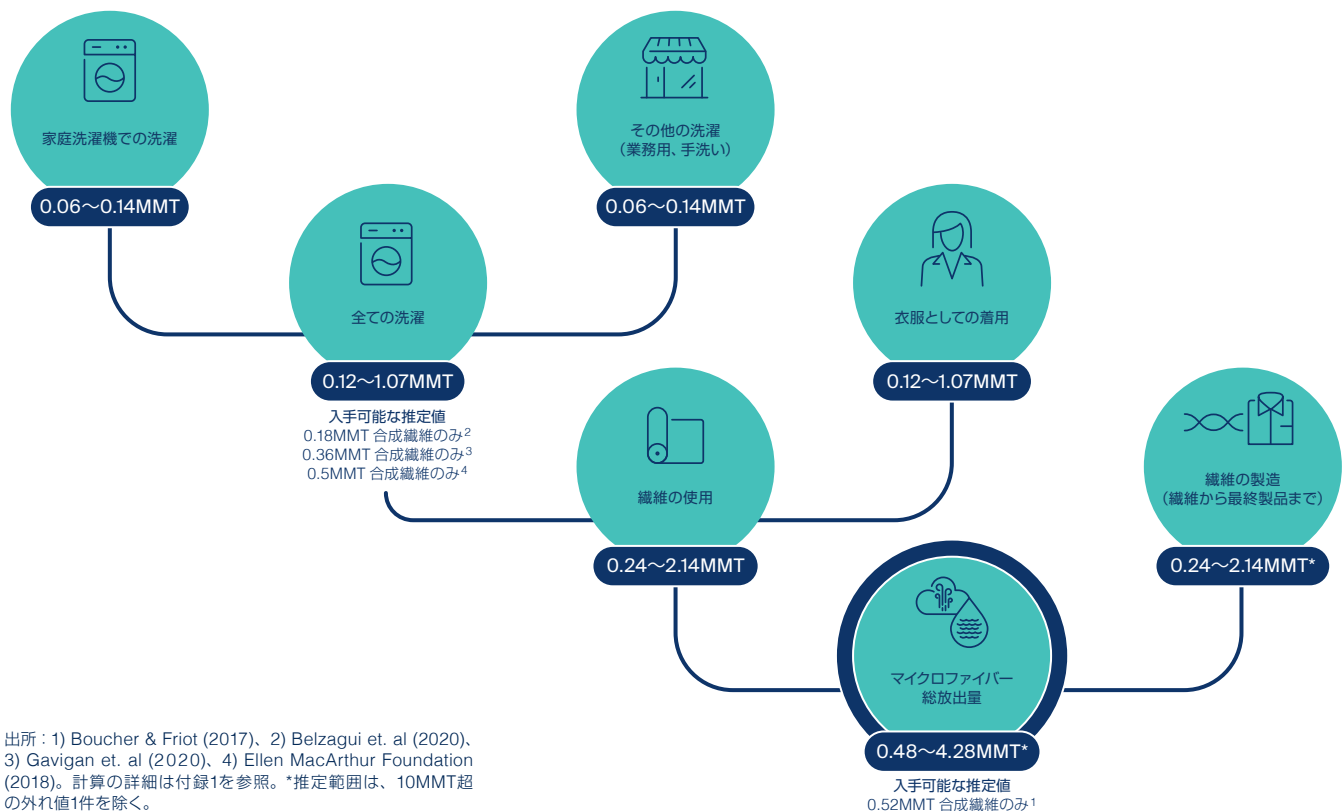
製造段階や廃棄処理段階における繊維の抜け落ちは、使用段階、特に洗濯時における抜け落ちと比べて研究が進んでいない。また、天然マイクロファイバーの放出による影響度は合成マイクロファイバーと比べて研究が進んでいないようである。このため、マイクロファイバーの自然環境への流出に関する実態は十分に解明されていない（図表8）。

したがって、繊維製品のライフサイクル全体におけるマイクロファイバーの抜け落ちの可能性をより深く研究することで、汚染防止に向けた効果的な対策への取組みが進むだろう。マイクロファイバーは、排水を通して流出されるにせよ、陸上に放出されるにせよ、または直接大気中に放出されるにせよ、他のごみと同様に最終的には海へと運ばれる。例えば、河川は最終的に海に通じるため、プラスチックごみが海洋へと流れ込む主な流出経路でもある。実際、世界の10の河川が、海洋に流れ込むプラスチックごみの90%以上を運んでいることが分かっている⁶⁸。

一部で定量的なデータに乏しい地域はあるものの、繊維製品に関連するいくつかの個別要因がマイクロファイバー汚染を引き起こすことが確認されている。これらの要因を理解して対処することで、戦略的にマイクロファイバー汚染の低減に取り組むことが出来るであろう。問題の要因には以下が挙げられる。

- 繊維製品の製造工程
- 繊維製品のメンテナンスと使用
- 繊維の組成と織り方
- 排水処理

図表8 繊維製品のライフサイクルにおける世界のマイクロファイバー放出量（合成繊維と天然繊維を対象に算出した内部推定値）
データが入手可能な場合は、既存文献の推定値を引用



出所：1) Boucher & Friot (2017)、2) Belzagui et. al (2020)、3) Gavigan et. al (2020)、4) Ellen MacArthur Foundation (2018)。計算の詳細は付録1を参照。*推定範囲は、10MMT超の外れ値1件を除く。

経路と各種課題

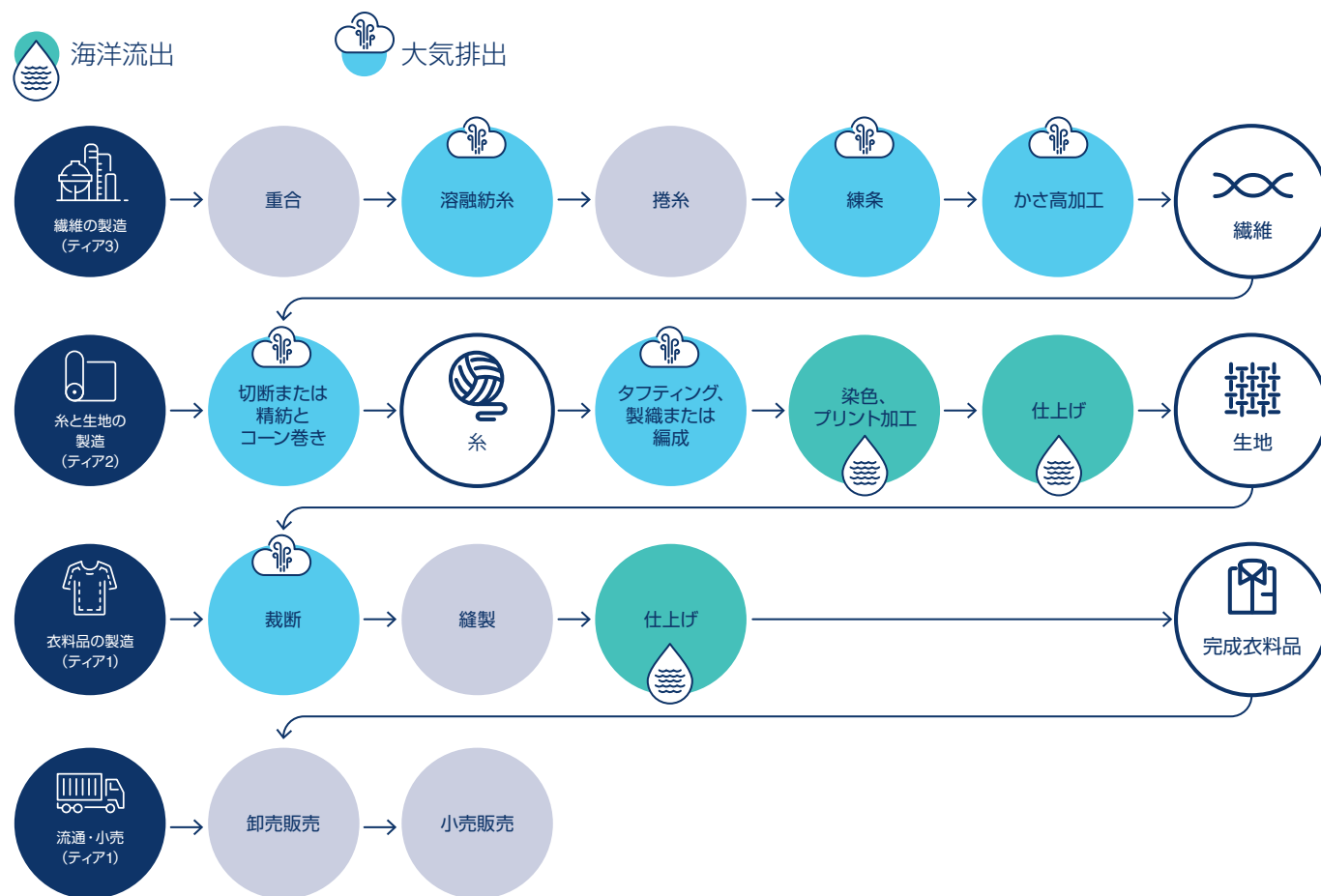
繊維製品の製造

繊維から衣料品に至るまでの様々な製造段階(染色、プリント加工、仕上げ加工に伴う研磨工程)においてマイクロファイバーが放出される¹⁵(図表9)。

繊維製品の製造に伴うマイクロファイバーの抜け落ちは概して十分に研究されていないが、その抜け落ち量が繊維製品のメンテナンスと使用に伴う抜け落ち量を上回る可能性がある^{15,16}。別の推計では、衣料品の製造過程で繊維量が10%から15%減少すると指摘されている¹。これは2020年に当てはめた場合、約10~16MMTの繊維量が失われたことに等しい(2020年の世界の繊維生産量109MMTに基づき算出³。図表8および付録1を参照)。

ただし、これらのマイクロファイバーの一部は製造過程で(空気ろ過などを通して)捕捉される可能性があるため、すべてが自然環境に放出されるわけではないことに留意すべきである。

図表9：繊維製品の製造サプライチェーンの簡略図



出所：The Nature Conservancy & Bain & Company (2021)より

繊維製品のメンテナンスと使用

繊維製品の洗濯と乾燥を行う際には、化学的および機械的な摩耗によってマイクロファイバーが繊維から剥がれ落ちる。このため、繊維製品のメンテナンス（洗濯と乾燥）はマイクロファイバー汚染の一因となっている¹⁷。マイクロファイバーはその後、繊維製品から洗い流されて排水として流れるか、乾燥機の場合は大気中に放出される。

1回の洗濯で放出されるマイクロファイバーの本数（および重量）は大きく異なり、洗濯物の内容により左右される。1回の洗濯で発生するマイクロファイバーの総数の推定値は、70万本¹⁸から150万本¹⁷、あるいは700万本とも言われ、調査によっても大きく異なる⁶⁹。重量では、1回の洗濯で約0.5～1.3グラムのマイクロファイバーが放出されると考えられ¹⁹、例えば北米の一般家庭では、洗濯により毎年約135グラムのマイクロファイバーを放出している⁹。世界全体では衣服の洗濯による合成マイクロファイバー放出量の推定値が、年間0.18MMT²⁰、0.36MMT¹、0.50MMT³⁸と幅がある。当研究所では、洗濯物からの合成マイクロファイバーおよび天然マイクロファイバーの放出量が年間0.12～1.07MMTの範囲にあるものと見積もっている（図表8および付録1参照）。

洗濯時のマイクロファイバーの抜け落ちを助長する要因として、以下が挙げられる。

- 粉末洗剤の使用^{21,71}
- 縦型洗濯機の使用⁷²
- タンブル乾燥機による洗濯物の乾燥⁷³

洗濯に加え、**繊維製品の使用**によってもマイクロファイバーの抜け落ちが発生する。マイクロファイバーの抜け落ちに関する大半の研究は、洗濯時のマイクロファイバーの抜け落ちに焦点を当てている。だが、使用時にも洗濯時と同量のマイクロファイバーが抜け落ちる可能性がある²⁰と指摘されている²⁰。例えば、ある研究では、パリと同じ大きさの都市部において大気中に浮遊するマイクロファイバーが毎年3～10トンも地上に降り落ちていく可能性がある⁷⁴と指摘する⁷⁴。

衣料繊維の組成によっては、その経年数も抜け落ち率に影響を与える可能性がある。例えば、特定の混織物では経年に伴って抜け落ち率が高まるが、他の混織物では低減するという調査結果もある^{17,21}。

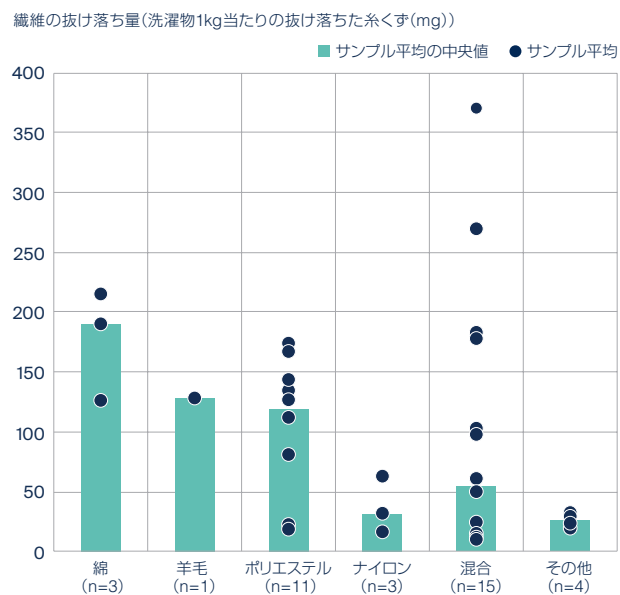
繊維製品の組成と織り方

マイクロファイバーの抜け落ち率は繊維製品や繊維の種類によって異なるため、ある種類の繊維製品は他の種類よりもマイクロファイバー汚染に影響していると言える。

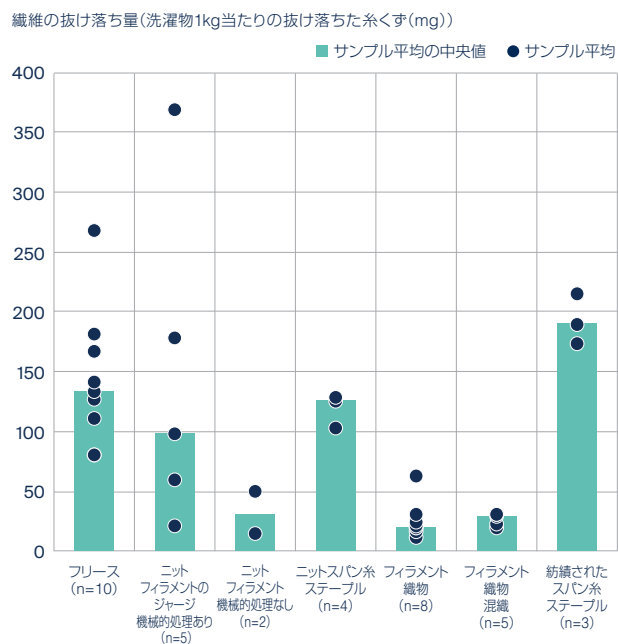
繊維製品の組成は、抜け落ち率に影響を及ぼす。綿や羊毛などの天然繊維は合成繊維よりも抜け落ちやすい傾向があり¹⁷、また、合成繊維製品や半合成繊維製品の中でも一般的にポリエステルはナイロンよりも抜けやすいとされる^{69,75} (図表10)。

繊維製品の織り方も抜け落ち率に大きく影響する。フリースのようにフィラメントが多く露出している繊維製品は、フィラメントの露出が少ない生地と比べて抜け落ちが多いとみられている^{17,21} (図表11)。

図表10：主要な繊維製品の抜け落ち率



図表11：織り方別の抜け落ち率



出所：Vassilenko et al. (2021)。

個々のサンプルデータは、3回の洗濯で生じた糸くずの平均重量を表している。ここで標準偏差は表示されていないが、全サンプルの標準偏差は1%~61%と広範囲に渡っている。カテゴリの中央値は、サブカテゴリ内のサンプル平均値に基づいて算出した。2つのサンプルの外れ値はグラフとカテゴリ中央値の計算の両方から除外した (図表10 - ポリエステル (糸くず778mg/洗濯物1kg) と混合織物 (糸くず838mg/洗濯物1kg)、図表11 - フリース (糸くず778mg/洗濯物1kg) とニットスパン糸/ステープル (糸くず838mg/洗濯物1kg))。

排水処理

生活排水や産業排水を排水処理施設（WWTP）で処理することで、汚染除去済みの排水を環境に還元することができる。したがって、排水処理はマイクロファイバーの流出に対するバリアとして機能するが、その効果は以下のような多くの要因に左右される。

- 排水処理インフラへのアクセス
- マイクロファイバーを含むマイクロプラスチックの除去率
- WWTPで処理された下水汚泥の農業用土壌への使用

排水処理インフラへのアクセス

排水処理インフラを利用できるのは世界人口の3分の1以下であるため²²、世界の排水の80%は十分な処理が行われずそのまま自然環境にそのまま流れてしまっていると考えられる²³。したがって、多くの場合は排水が自然環境に流れてしまう前に廃棄物を除去するシステムが確立してない。

排水処理プロセスによる除去率

現代の排水処理プロセスは、小さな浮遊粒子をろ過する設計にはなっていないもの^{19,26-28}、WWTPの除去率は比較的高く、90%以上に及ぶことが多い^{19,24,25}。しかし、WWTPによって処理される排水が大量であることを踏まえると、WWTPから最終的に自然環境へと流出するマイクロファイバー量も当然ながら大量であると考えられる。

施設の場所や処理水の最終用途によって異なるものの、通常、WWTPでは一次、二次、三次処理プロセスが行われる^{29,76}。マイクロファイバーやマイクロプラスチックなどの微粒子は、その大部分が一次処理（汚泥が沈澱し、浮遊物は表面に浮上するプロセス）で除去される⁷⁶。

- **一次処理**：粗ろ過による重い固形物や大きな物質、浮揚性化合物の除去および沈殿分離による沈降性化合物の除去。
- **二次処理**：好気性生物処理プロセスによる残留有機物および浮遊固形物の除去。
- **三次処理**：金属、化学物質、溶解固形物の除去。

WWTPで処理された下水汚泥の農業用土壌への使用

マイクロファイバーを下水汚泥中にとどめて排水から除去しても、必ずしも自然環境への流出を防ぐことはできない。なぜなら、下水処理中に副産物として生成される半固形状の下水汚泥は栄養価が高く、北米と欧州の多くの国で農業用肥料として幅広く使用されているからである^{26,29}。

汚泥はまた、焼却や埋め立てのほか、セメントを添加して利用することも可能であり、マイクロファイバーの保持能力は処理方法により異なる²⁷。例えば、英国ではWWTP汚泥の約93%が農耕地などの土地に使用されるほか、4%は焼却処分され、3%は産業用に利用されている⁷⁷。また、未処理または最小限の処理しか施されていない排水が灌漑に使用されることもあり、マイクロファイバーやその他の汚染物質の陸上生態系への流入につながっている^{5,29}。

対策

このセクションでは、**政府、産業界、投資家**がマイクロファイバー汚染低減に取り組むうえで、主にどのような措置を講じることができるのか説明する。

マイクロファイバーを自然環境から直接除去する技術が登場しつつあるが³⁰、マイクロファイバーは非常に小さく軽量であり、多様かつ複雑な生態系の中に遍在しているため、一般的に直接除去のプロセスは極めて非効率のだと考えられている。

したがって、最も効率的な方法は、そもそもマイクロファイバーが自然環境に流出することを防ぐこと、つまりマイクロファイバーの抜け落ちの発生源に焦点を当てて対策を講じることだと言えよう（図表12）。

政府は、産業界による取り組みを強化するためのインセンティブと機会を創出できるため、マイクロファイバー汚染低減の実現で鍵となる。政府が採り得る政策手段には、基準や規制の策定、研究開発補助金の拠出によるイノベーションの促進、行動を促すための経済的インセンティブの提供、国民の意識向上や啓発キャンペーンの実施、影響力が大きい主要プレーヤーとの協働などが挙げられる。

産業界で最も重要なプレーヤーは、繊維製品・衣料品メーカーやアパレル業者などである。こうした産業はマイクロファイバー汚染をもたらす主因でもあるため、政策介入の対象となる。また、洗濯機メーカーや排水処理業者など、本件において社会を大きく動かす重要なポイントとなっている業界も、マイクロファイバー汚染対策の対象となる。

最後に、**投資家**が働きかけることで、マイクロファイバー汚染に関する企業の対応に影響を与えることができる。投資家が行動を起こす動機として、政策介入を見越したリスク管理の遂行、経済的機会活用のインセンティブ、または道徳上の義務などが挙げられる。規制による対応が不十分な場合でも、投資家の影響力は大きな変革の実現に向けた取り組みを加速させるだろう。

図表12：アクショングループ別の取り組み可能な対策の概要

対策	アクション可能なグループ		
	政府と規制当局	産業界	投資家
(1) 繊維の抜け落ち率の規制	業界共通基準の試験と認定	研究グループとの協力による基準の開発	
	繊維の抜け落ち率の上限設定		繊維・衣料品のバリューチェーンにおける取り組み：1) 抜け落ち率の基準採用、2) 繊維の抜け落ち防止策の積極的な奨励。
	抜け落ちの多い製品に対する課税措置	抜け落ち率に対する自主規制の取り組み	
	異なる繊維の抜け落ち率に関する製品ラベル表示義務		広範囲に及ぶ抜け落ち率の規制がバリューチェーンに及ぼす経済的影響を把握（研究開発コスト、バリューチェーンコストの増加など）
(2) 繊維製造時のマイクロファイバー放出の抑制	マイクロファイバーの放出を最小限に抑えるため、適切なベストプラクティスの採用を産業界に要求	生地・衣服の製造時にマイクロファイバーの放出を抑える措置を導入	
(3) 洗濯機におけるマイクロファイバーフィルターの使用	すべての新しい洗濯機にマイクロファイバーフィルターの内蔵を義務付ける法案の可決	フィルター内蔵の新しい製品ラインの開発、または既存の洗濯機に装着する後付けフィルターの開発	洗濯機メーカーと連携し、製品開発・商品化を促進
(4) 排水処理施設（WWTP）でのマイクロファイバー除去率の改善	既存のWWTPにおける三次処理・四次処理プロセスの導入、もしくは現在設置されていない地域でのWWTP建設。イニシアチブの資本集約度を鑑み、政府と規制当局が推進を主導		

対策

対策(1): 繊維の抜け落ち率に対する規制

各種対策の効果にもよるが、繊維の抜け落ち率の低減対策は汚染の発生源に対処することになるため、おそらく最も強力な汚染対策だと言える。抜け落ち率をわずかに低減することでも、大きな効果が期待できる。

現時点では、異なる繊維製品からのマイクロファイバーの抜け落ち率を測定する**業界共通の繊維試験基準**が存在せず、このことが**規制と自主的な取り組みの両方において大きな支障**となっている。抜け落ち率を測定する業界共通の基準がない状況で、遵守基準を策定したり、モニタリングを実施したりすることは困難である。したがって、抜け落ち率の測定について業界共通の繊維試験基準を確立することは、政策対応を可能にするために不可欠な前提条件となる。

産業界が認める共通基準の策定は、これまで産業界と規制当局・政府が協力して進めてきた。マイクロファイバー・コンソーシアム(TMC)、欧州における業界の垣根を超えた産業協働(CIA)、米国繊維化学技術・染色技術協会(AATCC)などの団体はじめ、業界主導で共通基準を開発する取り組みがすでに進められている。特にCIAは現在、自らの基準が欧州標準化委員会(CEN)規格として承認され、最終的にはISO規格として認められるよう、CENと協働中である⁹⁸。簡潔にまとめると、そうした基準が確立されれば以下のことが可能となる。

- 政府は、抜け落ち率を規制できる。
- 繊維製品・衣料品メーカーは、承認された方法でマイクロファイバーの放出量を測定できる。
- 投資家は、企業のパフォーマンスを一定の基準に従って評価し、マイクロファイバー汚染対策で企業にエンゲージメントすることができる。

業界共通の基準が確立されれば、政府は以下をはじめとする多くの政策手段が可能となる。

法律による抜け落ち率の許容上限の設定

この種の規制は、繊維メーカーや小売業者に対して、定められた繊維の抜け落ち基準を満たす製品のみを市場に届けるよう義務付けるものである。この規制により、フリース、ジャージ、天然織物、混織物など、特定の種類の繊維製品の製造・販売を事実上禁止することが可能となる⁶⁹。

本報告書の作成時点では、こうした規制は提案されていないとみられ、そのため、規制の効果を測ることは難しい。これは、抜け落ち率を測定する業界共通の基準が存在しないことが原因かもしれない。この問題を解決することで、規制対応への道が開けるかどうか、今後の動向を見守りたい。

抜け落ちの多い製品に対する課税

この種の規制は、消費者がマイクロファイバーの抜け落ち率の低い製品を購入するインセンティブになる可能性がある。また、小売業者に対しても、競争力を維持するために抜け落ち率の低い製品を販売するというインセンティブが働く可能性もある。

こうした課税は、提案されてはいるが、施行には至っていない。例えば、英国下院環境監査委員会は、衣料販売時に1点につき1ペンスの課税を求めている⁹⁹。消費財、特に衣料品などの生活必需品への課税は政治的に支持されない可能性があり、導入が難しいかもしれない。また、消費者の反応は、結局のところ、消費者支出に対する課税負担の重さに左右されるであろう。

抜け落ち率の製品ラベル表示

市場で製品の選択肢を制限する代わりに、繊維・衣料品の小売業者に製品ラベルによる抜け落ち率の開示を法的に義務付けるという方法もある。この種の規制は、理論的には、環境保護意識が高い消費者をマイクロファイバーが大量に抜け落ちる衣料品の購買や着用などから遠ざけることができる。

いくつかの国・地域では、次のような法律の制定を試みている。例えば、カリフォルニア州議会は2018年2月、「この衣料品は、洗濯時にプラスチック・マイクロファイバーが抜け落ちます。手洗いをお勧めします」という警告文を表示しなければ、2020年1月以降はポリエステルを50%より多く含むすべての衣料品の販売を禁止する法案(カリフォルニア州議会法案AB2379)を提出した。ただし、この法案は第三審議で可決されず、廃案となった。

本報告書の作成時点では、ラベル表示に関する規制は施行されておらず、規制導入の可能性とスピードを推測することは難しい。そのようなマイクロファイバーの抜け落ち防止対策の有効性は、消費者意識とそれに関連する購買決定の変化に大きく依存するため、不透明である。

対策

対策 (1): 繊維の抜け落ち率に対する規制

繊維製造業や衣料品小売業は、上記の規制および抜け落ち率の基準設置の対象となるだろう。現在、最も多く生産されている繊維はポリエステルと綿（図表13）、どちらもマイクロファイバーの抜け落ち率が相対的に高い傾向がある（図表10）。抜け落ち率に上限が設定された場合、抜け落ちが少ない代替素材を確保できない繊維メーカーは、市場シェアを失う可能性がある。したがって、業界全体としてマイクロファイバーの抜け落ちが少ない繊維製品の開発に取り組むことができる。

さまざまな繊維の抜け落ち率を低減することで、商品として望ましい特性が失われるという証拠はないとみられる。むしろ、マイクロファイバーの抜け落ちを抑えた繊維は、通常の摩耗による繊維量の減少が抑えられ、長期的に元の形状を維持できると予想される。

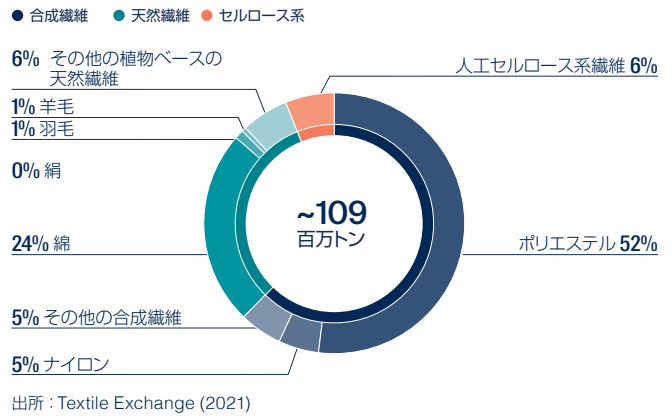
抜け落ちの少ない繊維はすでに市場に出回っている。例えば、衣料品メーカーのポーラテック社はフリースに類似した高機能繊維を開発しており、この繊維の抜け落ち率は通常のフリースの5分の1である⁷⁸。

ただ、本調査では、抜け落ち率を低減させることで製造コストが増加するかどうか、また、製造コストが消費者に転嫁されない場合は業界のマージンに影響を与えるかどうかについては、検証できなかった。

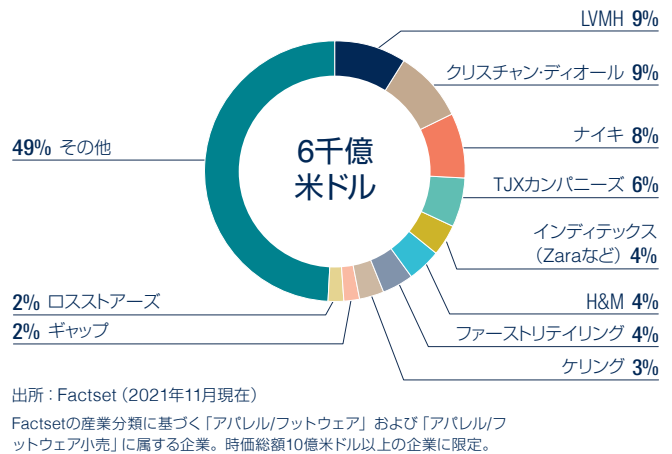
投資家は、重要課題（マテリアリティ）や環境へのインパクトと照らし合わせ、導入される可能性のある規制が投資先企業にもたらす影響の理解に努めるとともに、マイクロファイバー汚染低減に向けて産業界に積極的に働きかけることができる。

繊維・衣料品産業は相対的に寡占化が進んでおり、売上高ベースで上位10社が市場シェアの約50%を占めている（図表14）。そのため、ターゲットを絞って働きかけることで、大きなインパクトをもたらすことが可能である。また、繊維・衣料品産業は地理的にも集中しており、フランスと米国に本社を置く小売業者が、投資対象企業の65%近くを占めている（図表15）。

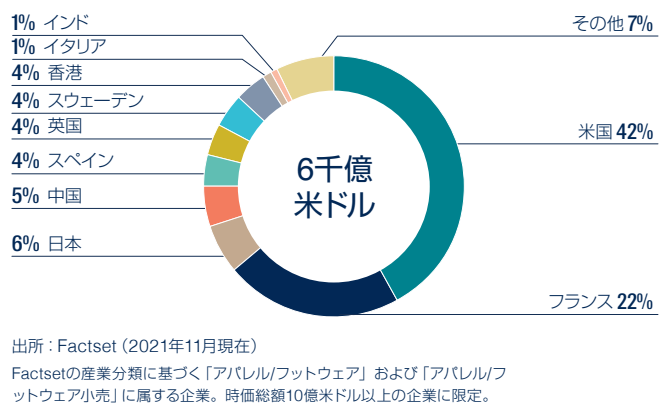
図表13：2020年の世界の繊維生産



図表14：売上高ベースの衣料品小売企業上位10社



図表15：売上高ベースの衣料品小売企業の地理的分布



対策

対策 (2): 洗濯機のマイクロファイバーフィルター使用

洗濯機にマイクロファイバーフィルターを取りつけば、マイクロファイバーが排水に流れ出てしまう前にフィルターで捕捉されるため、自然環境への放出を減らすことができる。

ろ過技術はすでに存在し、消費者の費用負担も特に高額ではないと思われる（図表16）。こうした技術の導入は中期的にも長期的にも重要となるだろう。

- 中期的には抜け落ち率に関する規制がより広く導入されるまでの間
- 長期的には抜け落ちの少ない繊維が開発されるまでの間

マイクロファイバー汚染防止対策の長期的な効率性は、以下によって促進されると考えられる。

- 利用可能な技術の活用によるマイクロファイバー除去率：現在の利用可能な技術による除去率は平均して約50%である（図表16）。ただし、ろ過技術の効率性は、ドラム内装置よりも優れていると考えられる。
- 導入の規模拡大：ろ過技術が大きな効果を発揮するためには、世界全体での導入が必要である。
- 捕捉したマイクロファイバーの処理方法：フィルターの使用は、捕捉したマイクロファイバーをシンクに流さずにゴミ箱に捨てるなど、消費者が適切に廃棄することを前提としている。

以上の対策を講じて、家庭洗濯機からのマイクロファイバー放出量を50%低減できた場合、重量で年間2,500万~7,100万キログラムに相当するマイクロファイバーの放出を防止できることとなる。（付録1）。

消費者はすでにマイクロファイバーフィルターを購入することができる。だが、ろ過技術の装備を義務付ける最低製品基準や、消費者が十分な情報を得た上で選択できるような製品ラベル表示の導入を通じて、マイクロファイバーフィルターの幅広い普及を義務付けることは、**政府**に委ねられている。製品仕様のマイクロファイバー要件厳格化は、消費者の意識や選択に依存しないため、より効果的である可能性がある。マイクロファイバーフィルターに関連する既存および提案されている法律や政策の例を以下に挙げる。

- フランスでは2020年の循環経済法において、2025年以降に国内で販売されるすべての新しい洗濯機に、マイクロファイバーを除去するろ過機能の装備を義務付けることを定めた。
- 2021年11月に英国下院に提出された法案（マイクロプラスチックフィルター（洗濯機）法案）が可決された場合、洗濯機メーカーは新しい家庭用・業務用洗濯機へのマイクロプラスチック捕捉フィルター取り付けが義務付けられる⁷⁹。
- オーストラリアは2021年3月に「国家プラスチック計画」を発表し、2030年までに業界主導ですべての新しい洗濯機にマイクロファイバーフィルターを段階的に装備することを目指すとした¹⁰⁰。
- カリフォルニア州議会は、洗濯施設に対してマイクロファイバーを除去するろ過システムの設置を義務付ける、マイクロファイバー汚染防止法案AB-802を提出した。本報告書の作成時点で、この法案は委員会審議中となっている。

図表16：家庭で放出されるマイクロファイバーを捕捉する既存装置の例

装置の種類	例	おおよそのコスト	捕集効率 (Napper et al, 2020より)	メーカーが報告した 捕集効率
ドラム内装置 (洗濯機用)	Cora Ball	£22	31%	31% ⁷⁹
	GuppyFriend洗濯バッグ	£26	54%	86% ⁸⁰
	Fibre Free (現在、個人向け販売は行っていない)	不明	不明	40% ⁸¹
	Eleanos Reusable Floating Net Bags	£6	不明	不明
外付け（アドオン型） フィルター（洗濯機用）	Xfiltra (現在、家庭用は販売されていない)	不明	78%	78% ⁸²
	Lint LUV-R フィルターキット + 壁掛け式	£112	29%	65% ⁸⁰
	MicroPlastics LUV-R	£156	不明	87% ⁸³
	Planetcare	£9	25%	90% ⁸⁴
	The Microfibre Filter (Girlfriend Collective)	£32	不明	90-99% ⁸⁵
水道水フィルター	Filtrol	£100	不明	89% ⁸⁶
フィルター内蔵型 洗濯機	GRUNDIG FibreCatcher洗濯機	£500	不明	>90% ⁸⁷

対策

対策 (2): 洗濯機のマイクロファイバーフィルター使用

関連する**産業界**の一部の企業は、さまざまな技術的ソリューションを提供することで、環境意識の高い消費者の需要をすでに開拓している(図表16)。例えば、マイクロプラスチック用洗濯機フィルター「Lint LUV-R」の製造メーカーは、2001年以降の販売数が7,500個以上にのぼると報告している⁸⁸。

企業はサプライチェーン上のどのポイントでマイクロファイバーが大量に放出されているのかを正確に把握することで、マイクロファイバー汚染低減・対策用製品の開発という成長市場への参入機会を見つけやすくなる。ろ過技術自体はすでに存在しているため、この種のアクションを講じることで産業界が負担するコストは、製品設計や製造工程の変更にかかるものとなる。なお、フィルター内蔵型洗濯機をコスト競争力のある価格で販売しているメーカーは1社しか存在せず、この事実は、洗濯機メーカーがいずれも比較的对等な立場に置かれていることを示している(図表16)。

また、すべての業務用洗濯機にマイクロファイバーフィルターを後付けするよう義務付けることも、産業界に一定のコスト負担をもたらすだろう。フィルター装備の責任は洗濯事業のオーナーが担う可能性が高く、後付け規制の施行が求められれば、状況はさらに複雑になると思われる。

規制や業界の対応は比較的遅いように思われるが、**投資家**は洗濯機メーカーが自主的な取り組みをより迅速に進めるよう促すことができる。自主的な取り組みとして、以下が挙げられる。

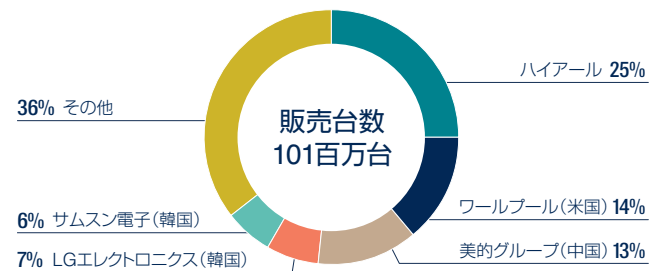
- 既存製品へのマイクロファイバーフィルターの追加装備やフィルター内蔵型の新製品の提供。
- 既存製品に後付けできるアドオン型フィルターの設計と販売。
- 高効率のマイクロファイバーフィルター設計に向けた研究開発への投資。現在、マイクロファイバーを100%捕捉できるフィルターは市場に存在しない。

洗濯機用フィルターを義務付ける規制がすでに存在することを踏まえると、この分野における取り組みは、リスク管理の観点からも投資家にとって有益であると考えられる。類似の問題に関しては規制対応が比較的迅速に行われてきたため(例えば、マイクロビーズ汚染に対する世界的な規制対応⁸⁹)、今後新たな規制対応リスクが発生する可能性はある。

世界の洗濯機産業は相対的に寡占化が進んでおり、上位5社が世界全体の生産量の60%以上を占めている(図表17)。

こうした寡占化は、それだけ規制リスクのエクスポージャーが集中していることを意味する。ただ同時に、業界に働きかけることで多大なインパクトがもたらされる可能性も示している。

図表17: 洗濯機メーカーの市場シェア



出所: Textile Exchange (2021)

資産運用会社が主導する投資家エンゲージメントプログラムの例

2020年、資産運用会社ファースト・センチア・インベスターズ (FSI) は、機関投資家からなるエンゲージメントグループを率いて、2023年末までにマイクロファイバーろ過技術を洗濯機に標準装備するよう、家庭用・業務用洗濯機メーカーへの働きかけを開始した。FSIがこのプログラムを開始した背景には、洗濯機業界におけるマイクロファイバーろ過技術の導入の遅れがあった。エンゲージメントグループは、英国海洋保護協会 (MCS) の研究者の支援のもと発足した。

すでに全世界で30社の投資家がこのイニシアチブに参加しており、メーカーやそれぞれの業界団体に対して直接働きかけを行っている。当初のエンゲージメントでは、マイクロファイバーフィルターを新製品に装備することで、この問題に率先して取り組もうとするメーカーがある一方で、具体的な行動を起こすには規制による後押しを必要とするメーカーもあることがわかった。詳細については、<https://www.firstsentierinvestors.com>⁹⁷を参照して頂きたい。

対策

対策 (3): 繊維製造におけるマイクロファイバー放出の抑制

製造段階におけるマイクロファイバーの放出に関する研究は少ないが、既に行われている一部の研究の推定値によると、放出量は使用時よりも製造段階の方が多く^{15,16}、原材料の繊維量の10~15%に達する可能性もあるという¹。マイクロファイバーの抜け落ちを低減する業界のベストプラクティスを導入すれば、繊維製品や衣料品の製造過程で放出されるマイクロファイバーの量を抑えることができるだろう。経済協力開発機構 (OECD) は、繊維製品や衣料品のデザインや製造方法を変更することで、マイクロファイバーの抜け落ち率を最大80~90%減少させることができると報告している⁹⁰。

製造時のマイクロファイバーの放出については、これまで十分に研究されてこなかったため、初期の対応は業界主導で行われる公算が大きい。この際、抜け落ちを低減することが分かっている既存のベストプラクティスを導入する方向になると考えられる。

- 1) 製造過程でマイクロファイバーが抜け落ちるポイントを特定する。
- 2) 製造時にこれらの放出ポイントにおいてマイクロファイバー汚染を低減し得る、以下のような既存の手法や手順を特定する^{21,38}。
 - 衣類の予洗い
 - 真空式の空気輸送装置の設置
 - 超音波切断技術の採用
 - 抜け落ち防止コーティングの塗布(環境に悪影響を与えない範囲で)
 - ブラッシングの抑制
- 3) 適切な手法を社内導入し、業界全体でも促進を図る。
- 4) Operation Clean Sweepがプラスチックペレット原料向けに開発したような、サプライチェーン全体で導入できるマイクロファイバー抜け落ち低減のベストプラクティスの一覧を公表する⁹¹。この一覧は、技術やデータ収集プロセスなどの改善の都度合わせて更新できる。

政府の役割: 産業界は上述の生産手法を自主的に導入することができるが、規制当局も適切な生産手法や利用可能な最善の技術 (BAT) の導入を業界に義務付けることができる。例えば、米国の水質浄化法は、排水処理と有害汚染物質に関するベストプラクティスに言及しており、米国環境保護庁はこれを認可規制の根拠としている⁹²。マイクロファイバー汚染低減のために設計されたBATの導入拡大に向け、同様の政策を実施することができるだろう。

同時に、**投資家主導**のエンゲージメントにより、以下の行動が促進され

る可能性がある。

- 製品に関連するマイクロファイバーの放出について、しっかりとされたライフサイクルデータを収集する。
- サプライチェーン全体で既存のベストプラクティスを採用し、繊維と衣料品の製造過程におけるマイクロファイバーの抜け落ちを最小限に抑える。
- サプライチェーンにおけるマイクロファイバーの抜け落ちを管理する上で、目標とコミットメントを設定する。これには、繊維の長さや抜け落ちに関する品質・耐久性基準の設定や、抜け落ち率が一定の値以下の製品のみを製造するというコミットメントが含まれる。

繊維製品メーカーを対象とするマイクロファイバー放出リスクの評価ツール

英国に拠点を置く国際的な野生生物保護団体Fauna & Flora International (FFI) は、繊維製品のバリューチェーン上の企業が生産工程や製品ラインでマイクロファイバーが多く抜け落ちるホットスポットを特定できるよう、マイクロファイバーが自然環境に流出する危険度を高めてしまう工程を突き止めるリスク評価ツールの開発を進めている。評価ツールには、企業が自社事業におけるマイクロファイバーの潜在的な汚染源を把握するために講じることのできる、簡単かつ実用的な手順が盛り込まれる予定である。

このツールはまた、マイクロファイバー汚染問題に馴染みのない企業も含め、規模を問わず製造チェーンのあらゆる段階に位置する企業を対象としている。さらに、適用可能であれば、特定されたリスク領域に有効となり得る解決策や、他の業界主導のイニシアチブが公開したベストプラクティスガイダンスの紹介も含まれる予定となっている。

このリスク評価ツールは、マイクロファイバー汚染問題に取り組む第一歩として、衣服や生地デザインの継続的なイノベーションを補完するとともに、洗濯時のマイクロファイバーの抜け落ちを最小限に抑える取組みにも効果をもたらす。このツールは、2023年に一般公開予定。詳細については、info@fauna-flora.orgまでお問い合わせいただきたい。

対策

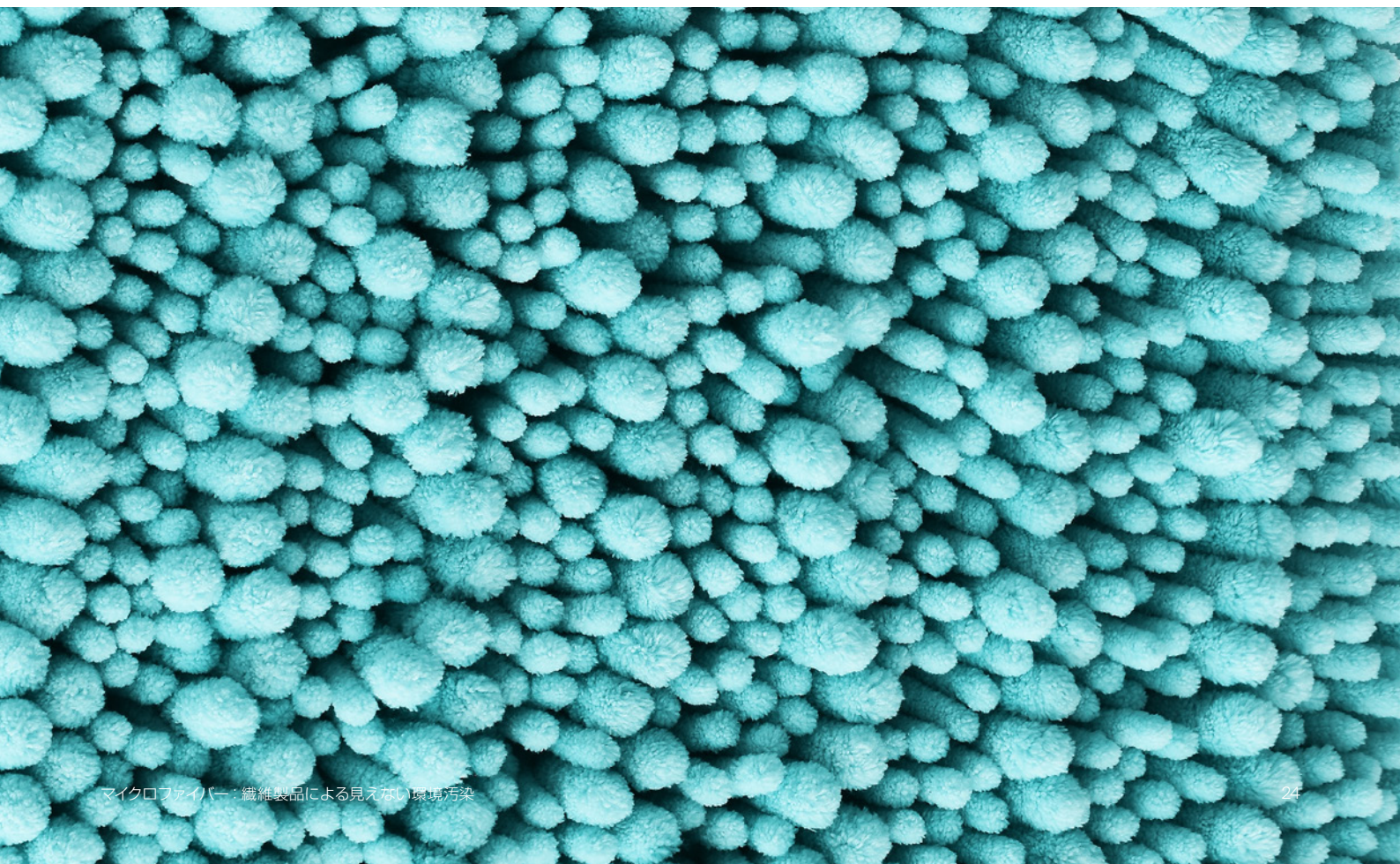
対策(4):排水処理時のマイクロファイバー除去力の改善

排水処理インフラの拡張や改善も、マイクロファイバー汚染を低減する上で有効となり得るアプローチだ。だが、以下のようなさまざまな理由により、最も効果の低いソリューションである可能性が指摘される。

- 大規模なインフラ整備を要するソリューションは、一般的に非常に高コストである。
- 既存のインフラのマイクロファイバー除去率がすでに高水準である(多くの場合90%以上)ことを考えると、除去率の改善余地はわずかにとどまる可能性がある。
- 捕捉された汚染物質は、下水汚泥を通じて農業用土壌に再び流入している。汚泥は依然として農業用肥料として循環経済の貴重な産物であり、今後も農業用土壌への流入は続く可能性が高い。

左記の点はバリューチェーンにおいてマイクロファイバーの放出低減に取り組む際の課題と考えられる。それでも、現在は世界人口の約3分の2が排水処理インフラを利用できない状態にあるため、排水処理インフラへのアクセスを拡大することは、環境面と健康面でより大きなメリットをもたらすだろう。

排水処理インフラの拡張や施設増強のための設備投資コストの大きさを考えると、こうしたイニシアチブや決定は主に政府や規制当局の権限下にあり、投資家の影響力や貢献は限定される可能性がある。



まとめ

ここ10年間で、マイクロファイバー汚染という広範かつ深刻な問題が注目されるようになった。この問題についての研究はまだ始まったばかりだが、現在までに得られた知見はマイクロファイバー汚染がヒトと生態系の両方に悪影響を及ぼすことを示している。

マイクロファイバー汚染問題に取り組む上で、特効薬的な解決策は存在しない。なぜなら、マイクロファイバーが全く抜け落ちないような生地が開発される可能性は非常に低く、既存の解決策が100%の効果を発揮することもないからだ。しかも、規制で義務付けられない限り、既存の解決策が幅広く導入される可能性も低いだろう。また、たとえ規制が適用されたとしても、自然環境に放出されるマイクロファイバーの量が大幅に減少するにはしばらく時間がかかると思われる。したがって、マイクロファイバー汚染問題に適切に取り組むには、あらゆる方面の当事者が変革を強く求め、いくつかのアプローチを組み合わせることで同時に展開していくことが不可欠である。

そのため、問題解決に向けて変革を推進していく上で、産業界、政府、投資家はそれぞれ重要な役割を担う。最も重要な最初のステップとして、以下を挙げる。

- **測定基準の策定:** 最初の重要なステップは、繊維製品からのマイクロファイバーの抜け落ち率を測定するための、公認かつ業界共通の基準を確立することである。これにより、産業界と政府は一貫性をもって抜け落ち率を測定でき、マイクロファイバー汚染の低減に最も効果的な繊維や製造工程について共通理解を得ることが可能となる。
- **政策の実施:** 政府は、マイクロファイバー汚染の低減に取り組むための国家のアクションプランを策定し、規制措置に関する方向性と実施のタイムラインを産業界に示すことが推奨される。

- **コミットメントの設定:** 産業界のメンバーや団体は、マイクロファイバー汚染に関するコミットメントや目標を設定することが奨励される。特に、ベストプラクティスの採用や、サプライチェーンにおいてマイクロファイバーの抜け落ちが多いホットスポットをより正確に把握するためのデータ収集へのコミットメントが重要となる。
- **調査研究:** 政府と産業界は、マイクロファイバーがヒトの健康と地球にどのように関与して影響を与えているのか、特に自然環境への流出、汚染物質の浸透、身体に及ぼす物理的影響などを解明するための継続的な研究活動への参画が奨励される。
- **産業界へのエンゲージメント:** 投資家が働きかけることで、マイクロファイバー汚染の低減に対する企業の対応に影響を与えることができる。規制当局の対応が不十分な場合でも、投資家の影響力があれば、大規模な変革の実現に向けて必要な取り組みを加速させることができる。

付録1：内部で算出した推定値

繊維製品のライフサイクルを通じたマイクロファイバーの放出に関するデータは限られている。このため、本報告書では入手可能な推定値を集計し、さらに高度化して予測することを試みた。入力値やソースと計算方法は以下に示す。内部推定値の算出作業は、あくまで概要のイメージを提供するための試みとして捉えられるべきである。また、ここではさまざまな入力値やソースを使用しており、それらは互いに完全に補完的であるとは限らない上、多くの単純化された仮定に基づいて計算されている点にご留意頂きたい。加えて、データにギャップが存在するほか、入力ソースが多様であり、重複や範囲が異なるために、内部で導き出した推定値が完全なものとは言えない。したがって、内部推定値はそうした制限を踏まえている点にご留意頂きたい。

入力データのまとめ

マイクロファイバーの放出に関する入手可能な推定値

- 0.52MMT：ライフサイクル全体、合成マイクロファイバーのみ²²
- 0.18MMT：洗濯時、合成マイクロファイバーのみ⁷⁰
- 0.36MMT：洗濯時、合成マイクロファイバーのみ¹
- 0.5MMT：洗濯時、合成マイクロファイバーのみ³⁸
- マイクロファイバーの放出量は、製造段階の方が使用中よりも多い可能性があり¹⁶、これは合成および天然マイクロファイバーのどちらにも当てはまるものと推測される。
- 製造段階で繊維量の10～15%が抜け落ちる可能性がある¹。我々は、この推定値が合成および天然マイクロファイバーのどちらにも当てはまるものと理解している。
- 洗濯1回につき0.5～1.3gのマイクロファイバーが放出される¹⁹。我々は、この推定値が合成および天然マイクロファイバーのどちらにも当てはまるものと理解している。
- 使用中のマイクロファイバーの放出量は、洗濯時と同程度である可能性がある²⁰。我々は、この推定値が合成および天然マイクロファイバーのどちらにも当てはまるものと理解している。

その他の使用データ

- 世界で使用されている洗濯機台数は8億4千万台¹⁷
- 1世帯あたりの洗濯回数は年間130回⁹³
- 2020年の天然繊維生産量は、合成繊維生産量の61%に相当（2020年の合成由来繊維の世界生産量68MMTに対する、植物由来を含む天然由来繊維の世界生産量41MMTの割合は41MMT/68MMT=61%³）
- 1975年から2020年までの天然繊維生産量は、合成繊維累積生産量の114%に相当（1975年から2020年までの合成由来繊維の世界生産量に対する、同期間の植物を含む天然由来繊維の累積世界生産量の割合、5年毎のデータを基に推定。年次データが入手不可能な年はCAGRが等しいと想定³）。
- 2020年の世界繊維生産量は109MMT³

仮定と計算方法

- 合成繊維のみの推定値はすべて、以下のように合成繊維および天然繊維の総計に変換する。
 - 天然繊維からの抜け落ちの推定値-合成繊維のみの値に61%および114%（合成繊維生産量に対する天然繊維生産量の割合）を掛けた。多くの繊維が1年以上使用される可能性がある一方、30年以上使用されることは少ないため、2020年の61%または1975年から2020年までの累積114%のどちらの数値も理想的とは言えない。しかしながら、両方のアプローチも用いることで、おおよその範囲を導くことができる可能性がある。
 - 合成繊維のみのマイクロファイバーの抜け落ちに関して入手可能な数値と、天然マイクロファイバーの抜け落ちに関する推定値の範囲を合計した。
 - 制限事項：簡潔化のため、上記の計算では合成繊維と天然繊維の抜け落ち率が同程度であると仮定している。ただし、主要な天然繊維である綿は、ポリエステルよりも抜け落ちが約50%多いという証拠も存在する^{69,75}。したがって、我々の仮定が過小評価を生む可能性がある。
- 使用中のマイクロファイバー放出量は、洗濯時の放出量推定値と等しいと仮定する²⁰。

付録

付録1：内部で算出した推定値

3. 使用中のマイクロファイバー放出量の推定値は、洗濯時および使用中の放出量推定値と等しいと仮定する。
4. 製造段階のマイクロファイバー放出量の推定値は、以下のように推定する。
 - a. 使用中の放出量の推定値と等しいと仮定する。一部の研究は、製造段階の放出量が使用中の放出量と比べて過小評価されている可能性を指摘しており、この仮定が過小評価を生む可能性がある。¹⁶
 - b. 2020年の繊維の世界生産量を10～15%¹×109MMT³で算出し、約11～16MMTとする。製造段階で抜け落ちるマイクロファイバーの一部は捕捉され、自然環境に放出されないことを情報源が認めているため、このアプローチは過大評価の可能性が高い。ただし、この割合は不明となっている。
5. 家庭用洗濯機からのマイクロファイバーの放出量は、以下のように推定する。洗濯1回あたりに放出されるマイクロファイバーの量0.5～1.3g¹⁹×1年間あたりの洗濯回数130回⁹⁴×全世界の洗濯機台数8億4千万台¹⁷=年間0.06～0.14MMT。
6. 繊維製品の手洗いおよび業務用洗濯の相対的な頻度。これらのプロセスで放出されるマイクロファイバーの情報は得られなかった。簡潔化のため、これらの発生源からの放出は、家庭洗濯機からの放出と等しいものと仮定する。この仮定がどの程度の過小評価もしくは過大評価を生む可能性があるかは不明だが、上記項目5の計算で導いた範囲の解釈にのみ影響をもたらす。
7. タンブル乾燥機からのマイクロファイバー放出量や、誤って自然環境に廃棄された繊維の放出量に関する推定値は確認することができなかった。したがって、今回の推定では、こうした潜在的なマイクロファイバー汚染の発生源は除外している。このため、マイクロファイバーの自然環境への総放出量は全体的に過小評価されている可能性がある。

推定結果

全体的に、マイクロファイバー総放出量（合成素材と天然素材の両方を含む）に関する我々の推定の大部分は、0.48～4.28MMTの範囲に収まっている。なお、11～18MMTの範囲にある2桁台の推定値1件は除外する。

- 1.16～4.28MMTの範囲は、洗濯時に抜け落ちる合成マイクロファイバーの放出量推定値を提供する3つの情報源から導き出した^{1,38,70}。この範囲の上限値は、エレン・マッカーサー財団の推定から導き出している。
- 0.84～1.11MMTの範囲は、繊維のライフサイクルの全ての段階で抜け落ちたマイクロファイバーの放出量推定値を提供する単一の情報源から導き出したもので、合成繊維のみを対象とする²²。
- 0.48～1.12MMTの範囲は、洗濯1回あたりのマイクロファイバーの放出量推定値を用いた内部計算に基づき導き出した¹⁹。この推定値の下限が、内部で決定した全体的な範囲の下限値を決定している。
- 製造段階で繊維質量の10～15%が減少する可能性があるという報告に基づき、約11～18MMTの範囲を導き出した¹。このアプローチは、他の5つの情報源よりも著しく高い推定値をもたらした。製造段階で捕捉されず、結果として自然環境に放出されるマイクロファイバーの割合が明確ではないため、この推定値は全体の推定範囲から除外している。

付録

付録2: マイクロファイバーに関する既存および提案されている法令

対策	規制の名称	規制の状況	企業への潜在的影響
洗濯機のマイクロファイバーフィルターの使用	循環経済法 (フランス) 2025年以降に販売される新しい洗濯機に、マイクロプラスチックを除去するろ過機能の装備を義務付ける	可決 (2020年)	すべての洗濯機メーカーと販売業者は、フィルター内蔵型洗濯機のための製造・販売を義務付けられる。
	国家プラスチック戦略 ⁴ 2030年7月1日までに、業界主導ですべての新しい家庭用・業務用洗濯機にマイクロファイバーフィルターを段階的に装備するため、繊維産業および白物家電業界と協力する。	実施 (2021年)	
	カリフォルニア州議会法案AB-802 洗濯施設に対して、効果的にマイクロファイバーを除去するろ過システムの設置を義務付ける	委員会で審議中 (2022年1月現在)	
繊維の抜け落ち率の規制	ニューヨーク州議会法案A-10599 合成繊維を50%以上含む衣料品について、洗濯時にマイクロファイバーが抜け落ちることを消費者に伝えるため、製品ラベルの追加表示を義務付ける	否決、委員会にて廃案 (2018年)	カリフォルニア州および同州に拠点を置く企業の全出荷先における、ポリエステルを50%以上含む衣料品に対する消費者需要の縮小の可能性
	カリフォルニア州議会法案AB-2379 ポリエステルを50%以上含む繊維で製造された衣料品に対し、マイクロファイバーが抜け落ちることを明確に警告するラベルの貼付を義務付ける	否決、第三審議にて廃案 (2018年)	
その他	コネチカット州議会法案H.B. 5360 (FKA レイズドビルNo. 341) コネチカット州エネルギー環境保護局長官にアパレル業界と環境コミュニティの代表者による作業部会の召集を義務付ける	可決 (2018年)	未詳
	フランス環境法L-541-10-3条 フランス市場で新しい繊維製品や衣料品を製造するすべての法人に対し、製品のリサイクルや適切な廃棄に責任を持つよう求める拡大生産者責任 (EPR) 制度	可決 (2007年)	使用済み製品の処理でリサイクル業者や廃棄物管理業者と協力するためのコスト
	EU繊維戦略 ⁵ 耐久性があり、再利用・修理・リサイクル可能で、エネルギー効率の高い繊維の使用を通じて、EUのカーボンニュートラル (気候中立) な循環経済への移行を促進する戦略。故意ではないマイクロプラスチック放出の低減政策について費用効果分析が盛り込まれる予定	欧州委員会の採択待ち (2022年初めの予定)	未詳
排水処理施設でのマイクロファイバー除去率の改善	未確認	該当なし	該当なし
繊維製造時のマイクロファイバー放出の抑制	未確認	該当なし	該当なし
抜け落ち率の測定方法の開発と導入	未確認	該当なし	該当なし

付録

付録3: マイクロファイバー汚染対策とサステナブルファッションに関連する活動を行う非政府組織 (NGO)

組織名	注力分野/概要
エレン・マッカーサー財団	循環型経済を推進する英国の登録慈善団体。「サーキュラー・ファイバー・イニシアチブ」と「ニュー・プラスチック・エコノミー・イニシアチブ」を立ち上げ、取り組みを進めている
プラスチック・スープ財団	マイクロファイバーに焦点を当て、「オーシャン・クリーン・ウォッシュ」キャンペーンを開始した非営利団体。衣料品のマイクロファイバー抜け落ち率の試験を行う研究機関「ウェアオフ・マイクロファイバー・アライアンス (WOMA)」と協力している
マイクロファイバー・コンソーシアム	サステナブルな繊維製品を目指す研究主導型のNGOで、繊維のフラグメンテーションとマイクロファイバー汚染の低減に向け、「The Microfibre 2030 Commitment」のもと産業横断的に世界の繊維業界と共に取り組んでいる
地球の友	マイクロファイバーの情報を発信する非営利団体。英国政府に対し、メーカーや小売業者が原因であるプラスチック廃棄の削減を求める請願を積極的に行っている
アウトドア産業協会 (OIA)	マイクロファイバー放出の発生源と原因に関するデータ収集を推進し、解決策を実施するよう会員企業間の取り組みを促す業界団体。マイクロファイバー・ツールキットや主要プロジェクトの一覧をはじめ、マイクロファイバー関連の資料も提供する
ヨーロッパ・アウトドアグループ (EOG)	ヨーロッパ全域のアウトドア業界を代表する業界団体。小売業者、各国の協会、テクノロジープロバイダーが参加し、市場調査、CSR活動、ロビー活動などに従事する
サステナブル・アパレル連合 (SAC)	繊維産業に携わる250以上の組織からなる消費財業界のためのグローバルなマルチステークホルダー型の非営利連合。世界のバリューチェーン全体において、環境負荷の低減と社会的公正の推進に取り組んでいる。繊維のバリューチェーンにおける環境問題および社会労働問題（人権）の影響を測定するツール「ヒグ・インデックス (Higg Index)」を開発した。ただし、このツールはSACのメンバーのみ利用可能で、マイクロファイバーの測定基準が含まれているかどうかは不明である。温室効果ガス排出、水質、排水、大気汚染、廃棄、および化学物質管理などに対し、環境評価の基準を設定している
ファッション・フォー・グッド	サステナブルファッションのイノベーションを目的とするプラットフォーム。「アクセラレータプログラム(スタートアップの育成)」「スケーリングプログラム(企業などとの提携)」「グッドファッションファンド(投資ファンド)」の3つのプログラムを通じて、イノベーターを支援している

Endnotes

- 1 Gavigan, J., Kefela, T., Macadam-Somer, I., Suh, S. & Geyer, R. Synthetic microfiber emissions to land rival those to waterbodies and are growing. *PLoS One* 15, 1-13 (2020).
- 2 OECD. Policies to Reduce Microplastics Pollution in Water: Focus on Textiles and Tyres. Policies to Reduce Microplastics Pollution in Water (2021) doi:10.1787/7ec7e5ef-en.
- 3 Textile Exchange. Preferred Fiber & Materials Market Report 2021. 1-118 (2021).
- 4 Lykaki, M. et al. The influence of textile finishing agents on the biodegradability of shed fibres. *Green Chem.* 23, 5212-5221 (2021).
- 5 Henry, B., Laitala, K. & Klepp, I. G. Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Sci. Total Environ.* 652, 483-494 (2019).
- 6 Viršek, M. K., Lovšin, M. N., Koren, Š., Kržan, A. & Peterlin, M. Microplastics as a vector for the transport of the bacterial fish pathogen species *Aeromonas salmonicida*. *Mar. Pollut. Bull.* 125, 301-309 (2017).
- 7 Hartmann, N. B. et al. Microplastics as vectors for environmental contaminants: Exploring sorption, desorption, and transfer to biota. *Integr. Environ. Assess. Manag.* 13, 488-493 (2017).
- 8 Rochman, C. M., Hentschel, B. T. & The, S. J. Long-term sorption of metals is similar among plastic types: Implications for plastic debris in aquatic environments. *PLoS One* 9, (2014).
- 9 Vassilenko, P. K., Watkins, M., Chastain, S., Posacka, A. & Ross, P. S. Me, My Clothes and the Ocean: The role of textiles in microfiber pollution. https://assets.ctfassets.net/fsquhe7zbn68/4MQ9y89yx4KeyHv9Svynyq/8434de64585e9d2cfbcd3c46627c7a4a/Research_MicrofibersReport_191004-e.pdf (2019).
- 10 Jemec, A., Horvat, P., Kunej, U., Bele, M. & Kržan, A. Uptake and effects of microplastic textile fibers on freshwater crustacean *Daphnia magna*. *Environ. Pollut.* 219, 201-209 (2016).
- 11 Ziajahromi, S., Kumar, A., Neale, P. A. & Leusch, F. D. L. Impact of Microplastic Beads and Fibers on Waterflea (*Ceriodaphnia dubia*) Survival, Growth, and Reproduction: Implications of Single and Mixture Exposures. *Environ. Sci. Technol.* 51, 13397-13406 (2017).
- 12 Zhao, Y., Qiao, R., Zhang, S. & Wang, G. Metabolomic profiling reveals the intestinal toxicity of different length of microplastic fibers on zebrafish (*Danio rerio*). *J. Hazard. Mater.* 403, 123663 (2021).
- 13 Lai, P. S. & Christiani, D. C. Long term respiratory health effects in textile workers. *Curr. Opin. Pulm. Med.* 19, 152-157 (2013).
- 14 Carney Almroth, B. & Eggert, H. Marine plastic pollution: Sources, impacts, and policy issues. *Rev. Environ. Econ. Policy* 13, 317-326 (2019).
- 15 The Nature Conservancy & Bain & Company. Toward eliminating pre-consumer emissions of microplastics from the textile industry. (2021).
- 16 Liu, J., Yang, Y., Ding, J., Zhu, B. & Gao, W. Microfibers: a preliminary discussion on their definition and sources. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 26, 29497-29501 (2019).
- 17 De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M. & Avella, M. The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Sci. Rep.* 9, 6633 (2019).
- 18 Napper, I. E. & Thompson, R. C. Release of synthetic microplastic plastic fibres from domestic washing machines: Effects of fabric type and washing conditions. *Mar. Pollut. Bull.* 112, 39-45 (2016).
- 19 Eunomia and ICF. Investigating options for reducing releases in the aquatic environment of microplastics emitted by (but not intentionally added in) products. (2018).
- 20 De Falco, F., Cocca, M., Avella, M. & Thompson, R. C. Microfiber Release to Water, Via Laundering, and to Air, via Everyday Use: A Comparison between Polyester Clothing with Differing Textile Parameters. *Environ. Sci. Technol.* 54, 3288-3296 (2020).
- 21 Carney Almroth, B. M. et al. Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 1191-1199 (2018).

Endnotes

- 22 Boucher, J. & Friot, D. Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. <https://www.iucn.org/content/primary-microplastics-oceans> (2017) doi:dx.doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en.
- 23 UNESCO & UN-Water. United Nations World Water Development Report 2020:Water and Climate Change. (2020).
- 24 Prata, J. C. Microplastics in wastewater: State of the knowledge on sources, fate and solutions. *Mar. Pollut. Bull.* 129, 262–265 (2018).
- 25 Xu, X., Hou, Q., Xue, Y., Jian, Y. & Wang, L. P. Pollution characteristics and fate of microfibers in the wastewater from textile dyeing wastewater treatment plant. *Water Sci. Technol.* 78, 2046–2054 (2018).
- 26 Nizzetto, L., Futter, M. & Langaas, S. Are Agricultural Soils Dumps for Microplastics of Urban Origin? *Environ. Sci. Technol.* 50, 10777–10779 (2016).
- 27 Horton, A. A., Walton, A., Spurgeon, D. J., Lahive, E. & Svendsen, C. Microplastics in freshwater and terrestrial environments: Evaluating the current understanding to identify the knowledge gaps and future research priorities. *Sci. Total Environ.* 586, 127–141 (2017).
- 28 De Falco, F., Di Pace, E., Cocca, M. & Avella, M. The contribution of washing processes of synthetic clothes to microplastic pollution. *Nature* 9, 6633 (2019).
- 29 FAO. Wastewater treatment and use in agriculture - FAO irrigation and drainage paper 47. <http://www.fao.org/3/t0551e/t0551e08.htm> (1992).
- 30 Austin, H. P. et al. Characterization and engineering of a plastic-degrading aromatic polyestherase. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, E4350–E4357 (2018).
- 31 Browne, M. A. et al. Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: Sources and sinks. *Environ. Sci. Technol.* 45, 9175–9179 (2011).
- 32 Suaria, G. et al. Microfibers in oceanic surface waters: A global characterization. *Sci. Adv.* 6, 1–9 (2020).
- 33 Napper, I. E., Barrett, A. C. & Thompson, R. C. The efficiency of devices intended to reduce microfibre release during clothes washing. *Sci. Total Environ.* 738, (2020).
- 34 Kane, I. A. et al. Seafloor microplastic hotspots controlled by deep-sea circulation. *Science* (80-.). 368, 1140–1145 (2020).
- 35 First Sentier MUFGE Sustainable Investment Institute. Microplastic pollution: the causes, consequences and issues for investors. (2021).
- 36 Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group. Pulse of the Fashion Industry. http://globalfashionagenda.com/wp-content/uploads/2017/05/Pulse-of-the-Fashion-Industry_2017.pdf (2017).
- 37 The Nature Conservancy & Bain & Company. Toward eliminating pre-consumer emissions of microplastics from the textile industry. https://www.nature.org/content/dam/tnc/nature/en/documents/210322TNCBain_Pre-ConsumerMicrofiberEmissionsv6.pdf (2021).
- 38 Ellen MacArthur Foundation. A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future. https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/A-New-Textiles-Economy_Full-Report_Updated_1-12-17.pdf%0Ahttps://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/a-new-textiles-economy-redesigning-fashions-future (2017).
- 39 Mishra, S., Rath, C. charan & Das, A. P. Marine microfiber pollution: A review on present status and future challenges. *Mar. Pollut. Bull.* 140, 188–197 (2019).
- 40 Taylor, M. L., Gwinnett, C., Robinson, L. F. & Woodall, L. C. Plastic microfibre ingestion by deep-sea organisms. *Sci. Rep.* 6, 1–9 (2016).
- 41 Devriese, L. I. et al. Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Mar. Pollut. Bull.* 98, 179–187 (2015).
- 42 Ross, P. S. et al. Pervasive distribution of polyester fibres in the Arctic Ocean is driven by Atlantic inputs. *Nat. Commun.* 12, 4–12 (2021).

Endnotes

- 43 Horton, A., Svensden, C., Williams, R., Spurgeon, D. & Lahive, E. Microplastics in sediments of the low-lying Thames River Basin catchment, UK – abundance, sources 1 and methods for effective quantification. *Environ. Pollut.* 114, (2017).
- 44 Wang, W., Ndungu, A. W., Li, Z. & Wang, J. Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China. *Sci. Total Environ.* 575, 1369–1374 (2017).
- 45 Napper, I. E. et al. Reaching New Heights in Plastic Pollution—Preliminary Findings of Microplastics on Mount Everest. *One Earth* 3, 621–630 (2020).
- 46 Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C. & Tassin, B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Mar. Pollut. Bull.* 104, 290–293 (2016).
- 47 Gasperi, J. et al. Microplastics in air: Are we breathing it in? *Curr. Opin. Environ. Sci. Heal.* 1, 1–5 (2018).
- 48 Woodall, L. C. et al. The deep sea is a major sink for microplastic debris. *R. Soc. Open Sci.* 1, (2014).
- 49 Ross, P. S. et al. Pervasive distribution of polyester fibres in the Arctic Ocean is driven by Atlantic inputs. *Nat. Commun.* 12, 4–12 (2021).
- 50 Gago, J., Carretero, O., Filgueiras, A. V. & Viñas, L. Synthetic microfibers in the marine environment: A review on their occurrence in seawater and sediments. *Mar. Pollut. Bull.* 127, 365–376 (2018).
- 51 Sørensen, L. et al. UV degradation of natural and synthetic microfibers causes fragmentation and release of polymer degradation products and chemical additives. *Sci. Total Environ.* 755, 143170 (2021).
- 52 Li, L., Frey, M. & Browning, K. J. Biodegradability Study on Cotton and Polyester Fabrics. *J. Eng. Fiber. Fabr.* 5, (2010).
- 53 Szostak-Kotowa, J. Biodeterioration of textiles. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 53, 165–170 (2004).
- 54 Hurley, R., Woodward, J. & Rothwell, J. J. Microplastic contamination of river beds significantly reduced by catchment-wide flooding. *Nat. Geosci.* 11, 251–257 (2018).
- 55 Botterell, Z. L. R. et al. Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environ. Pollut.* 245, 98–110 (2019).
- 56 Silva-Cavalcanti, J. S., Silva, J. D. B., França, E. J. de, Araújo, M. C. B. de & Gusmão, F. Microplastics ingestion by a common tropical freshwater fishing resource. *Environ. Pollut.* 221, 218–226 (2017).
- 57 Kosuth, M., Mason, S. A. & Wattenberg, E. V. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS One* 13, 1–18 (2018).
- 58 Rochman, C. M. et al. Anthropogenic debris in seafood: Plastic debris and fibers from textiles in fish and bivalves sold for human consumption. *Sci. Rep.* 5, 1–10 (2015).
- 59 Yang, D. et al. Microplastic pollution in table salts from China. *Environ. Sci. Technol.* 49, 13622–13627 (2015).
- 60 Elizalde-Velázquez, G. A. & Gómez-Oliván, L. M. Microplastics in aquatic environments: A review on occurrence, distribution, toxic effects, and implications for human health. *Sci. Total Environ.* 780, 146551 (2021).
- 61 Sørensen, L. et al. UV degradation of natural and synthetic microfibers causes fragmentation and release of polymer degradation products and chemical additives. *Sci. Total Environ.* 755, 143170 (2021).
- 62 Pesticide Action Network UK. Is cotton conquering its chemical addiction? https://issuu.com/pan-uk/docs/cottons_chemical_addiction_-_update?e=28041656/62705601 (2018).
- 63 Stone, C., Windsor, F. M., Munday, M. & Durance, I. Natural or synthetic – how global trends in textile usage threaten freshwater environments. *Sci. Total Environ.* 718, 134689 (2020).
- 64 Zhao, Y., Qiao, R., Zhang, S. & Wang, G. Metabolomic profiling reveals the intestinal toxicity of different length of microplastic fibers on zebrafish (*Danio rerio*). *J. Hazard. Mater.* 403, 123663 (2021).
- 65 Watts, A. J. R., Urbina, M. A., Corr, S., Lewis, C. & Galloway, T. S. Ingestion of Plastic Microfibers by the Crab *Carcinus maenas* and Its Effect on Food Consumption and Energy Balance. *Environ. Sci. Technol.* 49, 14597–14604 (2015).

Endnotes

- 66 Brennecke, D. et al. Ingested microplastics (>100µm) are translocated to organs of the tropical fiddler crab *Uca rapax*. *Mar. Pollut. Bull.* 96, 491–495 (2015).
- 67 Acharya, S., Rumi, S. S., Hu, Y. & Abidi, N. Microfibers from synthetic textiles as a major source of microplastics in the environment: A review. *Text. Res. J.* 91, 2136–2156 (2021).
- 68 Schmidt, C., Krauth, T. & Wagner, S. Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. 12246–12253 (2017) doi:10.1021/acs.est.7b02368.
- 69 Vassilenko, E. et al. Domestic laundry and microfiber pollution: Exploring fiber shedding from consumer apparel textiles. *PLoS One* 16, 1–17 (2021).
- 70 Belzagui, F., Crespi, M., Álvarez, A., Gutiérrez-Bouzán, C. & Vilaseca, M. Microplastics' emissions: Microfibers' detachment from textile garments. *Environ. Pollut.* 248, 1028–1035 (2019).
- 71 Hernandez, E., Nowack, B. & Mitrano, D. M. Polyester Textiles as a Source of Microplastics from Households: A Mechanistic Study to Understand Microfiber Release during Washing. *Environ. Sci. Technol.* 51, 7036–7046 (2017).
- 72 Hartline, N. L. et al. Microfiber Masses Recovered from Conventional Machine Washing of New or Aged Garments. *Environ. Sci. Technol.* 50, 11532–11538 (2016).
- 73 Pirc, U., Vidmar, M., Mozer, A. & Kržan, A. Emissions of microplastic fibers from microfiber fleece during domestic washing. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 22206–22211 (2016).
- 74 Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C. & Tassin, B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Mar. Pollut. Bull.* 104, 290–293 (2016).
- 75 Carney Almroth, B. M. et al. Quantifying shedding of synthetic fibers from textiles; a source of microplastics released into the environment. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 25, 1191–1199 (2018).
- 76 Carr, S. A., Liu, J. & Tesoro, A. G. Transport and fate of microplastic particles in wastewater treatment plants. *Water Res.* 91, 174–182 (2016).
- 77 Biosolid Assurance Scheme. About Biosolids. <https://assuredbiosolids.co.uk/about-biosolids/> (2021).
- 78 Costa, A. Microplastic Filters (Washing Machines) Bill. (UK House of Commons, 2021).
- 79 Cora Ball. WE ARE EATING OUR CLOTHING. <https://www.coraball.com> (2021).
- 80 GuppyFriend. GUPPYFRIEND Washing Bag. <https://en.guppyfriend.com/products/guppyfriend-waschbeutel#gfdescription> (2021).
- 81 FibreFree. FibreFree. <https://www.livefibrefree.com> (2021).
- 82 Xeros Technologies. XFilter™ Rated Best Microfibre Filter For Laundry. <https://www.xerostech.com/updates/xfilter-rated-best-microfibre-filter-for-laundry> (2021).
- 83 Environmental Enhancements. MicroPlastics LUV-R. <https://environmentalenhancements.com/store/index.php/products/products-micro-plastics> (2021).
- 84 PlanetCare. Global Microfiber Pollution Research: People Want Washing Machines to Stop Polluting the Oceans [2021]. (2021).
- 85 Collective, G. The Microfiber Filter. <https://girlfriend.com/products/water-filter> (2021).
- 86 Filtrol. The Filtrol Solution. <https://filtrol.net/about/> (2021).
- 87 Grundig. World's 1st Integrated Microfibre Filter. <https://www.grundig.co.uk/fiber-catcher> (2021).
- 88 Environmental Enhancements. Lint LUV-R. <https://environmentalenhancements.com/store/index.php/products/products-lint-filter> (2021).
- 89 Beat the Microbead. Global Impact. (2021).

Endnotes

- 90 OECD. Workshop on Microplastics from Synthetic Textiles: Knowledge, Mitigation, and Policy. 1-11 (2020).
- 91 Operation Clean Sweep. Operation Clean Sweep Best Management Practices. (2021).
- 92 Best Management Practices (BMP). Thompson Reuters Practical Law, (2021).
- 93 National Federation of Women's Institutes. In a Spin: How our laundry is contributing to plastic pollution. (2018)..
- 95 Suaria, G. et al. Microfibers in oceanic surface waters: A global characterization. Sci. Adv. 6, eaay8493 (2020).
- 96 Belzagui, F., Buscio, V., Gutiérrez-Bouzán, C. & Vilaseca, M. Cigarette butts as a microfiber source with a microplastic level of concern. Sci. Total Environ. 762, 144165 (2021).
- 97 FSI. Responsible Investment Report 2020. <https://www.firstsentierinvestors.com.au/content/dam/web/global/responsible-investment/documentation/global-documents/first-sentier-investors-2020-responsible-investment-report.pdf> (2020).
- 98 Fibre2Fashion. Textile industry alliance moves closer to microfibre shedding standard. (2021)
- 99 Environmental Audit Committee, Fixing Fashion: Clothing Consumption and Sustainability. Sixteenth Report Session 2017-19 (2019).
- 100 Australian Government: Department of Agriculture Water and Environment. National Plastics Plan 2021. (2021).

ご留意事項

MUFG ファースト・センティア サステナブル投資研究所は、三菱UFJ信託銀行およびその傘下にあるファースト・センティア・インベスターズグループが共同してサステナブル投資に関する調査・研究・レポート作成等の業務を対外的に行う際の呼称です。本資料は、三菱UFJ信託銀行アセットマネジメント事業部責任投資推進室が発行しています。

本資料は、MUFGファースト・センティアサステナブル研究所の活動の一環としてファースト・センティア・インベスターズグループが発行した「Microfibres: the invisible pollution from textiles」（英語版）を三菱UFJ信託銀行が日本語訳したものです。内容に忠実に日本語訳しておりますが、万が一これら両言語の内容に相違があった場合には、英語版が正となることを予めご了承ください。

本資料は、お客さまに対する情報提供のみを目的としたものであり、三菱UFJ信託銀行およびファースト・センティア・インベスターズグループが特定の有価証券・取引や運用商品を推奨または勧誘するものではありません。

本資料に記載されているデータ、意見等は本資料作成時点で信頼できると思われる情報に基づき作成したものです。三菱UFJ信託銀行およびファースト・センティア・インベスターズグループは、その正確性、完全性、情報や意見の妥当性を保証するものではなく、また、当該データ、意見等を使用した結果についてもなんら保証するものではありません。また、本資料に関連して生じた一切の損害について、三菱UFJ信託銀行およびファースト・センティア・インベスターズグループは責任を負うものではありません。

本資料に記載されている情報および見解は著者のものであり、必ずしも三菱UFJ信託銀行およびファースト・センティア・インベスターズグループのものではありません。

本資料の著作権その他の知的財産権は三菱UFJ信託銀行およびFirst Sentier Investors (Australia) Services Pty Limitedに属し、その目的を問わず無断で引用または複製することを禁じます。

本資料に記載している見解等は本資料作成時における判断であり、経済環境の変化や相場変動、制度や税制等の変更によって予告なしに内容が変更されることがありますので、予めご了承下さい。