

8. 大型台風が^{あぶ}炙り出す海域に漂流・滞留・潜在する膨大なマイクロプラスチックの漂着実態

山口 晴幸^{1*}

¹元防衛大学校建設環境工学科 (〒236-0053 神奈川県横浜市金沢区能見台通45-13-103)

* E-mail: hareyuki@oregano.ocn.ne.jp

海域でのマイクロプラスチックの動態性の評価に役立てるために、平常時の波風では殆ど打ち上がることのない、水域(海・河川等)に漂流・滞留・潜在している途轍もない量のマイクロプラスチックが、大型台風という稀な気象効果で浮き彫りにされる実態について、関東沿岸域の砂浜海岸で実施したマイクロプラスチック調査を通して明らかにしている。またマイクロプラスチックを構成している素材分析から、台風上陸通過後には、主要素材である発泡スチロールとレジンペレットを累計した数量比率が8割以上を占め、両者の素材がマイクロプラスチックの大半を構成しており、取り分け発泡スチロール素材のマイクロプラスチックが主流となっていることを指摘している。海域での発泡スチロールの供給源は漁業用ブイや漁箱、レジンペレットの主用途はプラスチック製品の間接材料や成型材料であり、用途がかなり限定的であることから、漁業・水産とプラスチック業界には抜本的な流出防止対策が強く求められるとしている。

Key Words :micro-plastic,powerful typhoon,disaster waste,sand beach,Sagami bay,Tokyo bay

1. マイクロプラスチックと調査研究の主眼

マイクロプラスチック(MP)などの微小プラスチックを含めた廃プラスチックによる海洋汚染問題は、世界的にも極めて注目度の高い地球環境問題の一つである。

だが、MPは大きさ5mm以下の微小プラスチックであるが故に、海洋を漂流しているものや海底深く沈積しているものなど、既に海域に存在するMPは、地球海洋的に回収除去することは極めて困難であり、現状では殆ど対応するすべのない状況にある(写真1)。言及するまでもないことであるが、洋上漂流・海中遊泳・海底沈積している海域のMPについては、海洋生物に摂食を回避させるための人為的な施策はない。まさに海域を移動拡散するMPが無防備に海洋生物の体内に取り込まれる実態は、含有・吸着する有害化学物質による海洋生態系への影響リスクに対して、食物連鎖を介して拍車の掛かる状況を生み出している。

科学的な根拠は明確でないように思われるが、推定では既に兆個単位の数量で、MPが世界の海域に漂流・拡散しているとも言われている¹⁾。

海域でのMPの移動・拡散状況は、海流・潮流をはじめ風波などの複雑な海洋・気象要因に強く影響を受けるため、季節的、経年的にも大きく変動しているものと推察される。素である廃プラスチックの流出・排出源の究

明や軽減・抑制対策に役立てるためにも、

MPの漂流 写真1 回収が難しく、生物摂食され易いMP密度やその材質・素材構成などに関する変動状況や推移傾向を時系列的に把握し、海域でのMPの変遷する動態性を定量的に評価することが求められる。

だが、洋上でのMP調査には船舶などの大掛かりな設備と人員や膨大な経費を要し、調査は特別な機関や組織等に限られ、誰でもが手軽に調査することは難しい。ましてや地球海洋規模での踏査では、季節的・経年的などの定点調査を継続することにも限界性があり、刻々変動する広大な海域でのMPの動態性に関する定量的な調査情報は殆どない。

筆者はこれまで砂浜海岸でのMP調査を全国的に試みている²⁾。調査では持ち運びできる簡素な用具を備える程度でよく、個人的にも比較的容易に実施することができる。海岸に現存するMPの大半は流出・漂着を繰り返していることから、海岸・沿岸沖合を漂流・浮遊するMPの状況を簡易的に評価するのに役立てられる。また海岸調査ではMPの海岸ごとの特徴ははじめ、海岸地形



表1 調査海岸と調査時期一覧

番号	調査海岸	調査時期	
		2016～2018年 平常時	台風19号上陸通過 (2019.10.12)後
K27	横須賀市野比海岸	2017.1.18	2019.10.28
K26	横須賀市長沢海岸(北下浦漁港脇)	2017.1.18	2019.10.28
K22	三浦市赤羽根海岸	2016.10.7	2019.10.28
K12	鎌倉市材木座海岸	2016.11.7	
K38	鎌倉市由比が浜海岸		2019.10.31
K34	横須賀市伊勢町海岸	2016.11.29	2019.11.5
K31	横須賀市鴨居漁港海岸	2016.11.29	2019.11.5
T1	品川区おだいばビーチ	2018.6.28	
T3	大田区城南島海浜公園つばさ浜		2019.11.8
C4	富津市大貫海岸	2017.5.16	2019.11.10

と漂着分布状況、漂着量の季節的・経年的な動態性(変動量や推移傾向など)、MPの材質・素材構成など、漂着したMPの性状を多角的に分析し把握することができることから、廃プラスチックの排出・流出源の解明やその軽減・抑制対策などを検討するのに、有益な示唆を与える。

さらに既報しているが²⁾、海岸漂着後、長期に亘って放置・滞留された廃プラスチックは、紫外線や気温変化に曝され劣化破碎が進展し、MPの供給源にもなっているため、漂着廃プラスチックの迅速な回収撤去は海域に流出するMPを軽減・抑制するためにも最も有効な水際対策となる。その意味で、MPの海岸調査は、海岸清掃活動を定期的に継続することの重要性を再認識させ、持続的な清掃活動の普及啓発を推進させるのにも大いに役立つ。

このような背景の下、本稿では海域でのMPの動態性を究明する一助として役立てるために、大型台風の上陸通過という特異な気象下に曝された関東沿岸域の砂浜海岸で調査を実施し、漂着するMPの実態に及ぼす台風効果について検討を試みている。

2. 大型台風上陸通過と関東沿岸での調査海岸

2019年10月12日夕から夜に掛けて、大型台風19号が非常に強い勢力を保ったまま東海～関東地方に上陸し、その後13日に掛けて北東の太平洋側に抜けた(図1右下)。関東沿岸域では最大瞬間風速約58m/sの記録的な風速が観測され、うねりに伴う高波や高潮による災害に対しても厳重な警戒が発せられた。東京湾岸には一級河川の河口が多く、台風上陸数日後には木くず・くずゴミをはじめポリ袋やプラ容器類等の膨大な災害ゴミが海域に流出していた。台風が通過して9日後の東京湾に面する神奈川県横須賀市沿岸域の踏査では、漁港や海岸を埋め尽くす大量の災害ゴミを確認している(写真2)。

大型台風19号通過後のマイクロプラスチック(MP)調査は、上陸経路周辺の神奈川県三浦半島を中心に、東京湾と相模湾に面する8か所の砂浜海岸を対象として(図1参照)、同年10月下旬から2週間ほど掛けて実施した(表1)。台風効果によるMP漂着量の変動性の評価には、

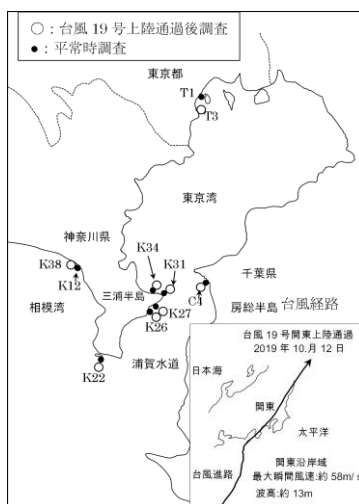


図1 大型台風19号経路と調査海岸



写真2 災害ゴミの漂流・漂着例

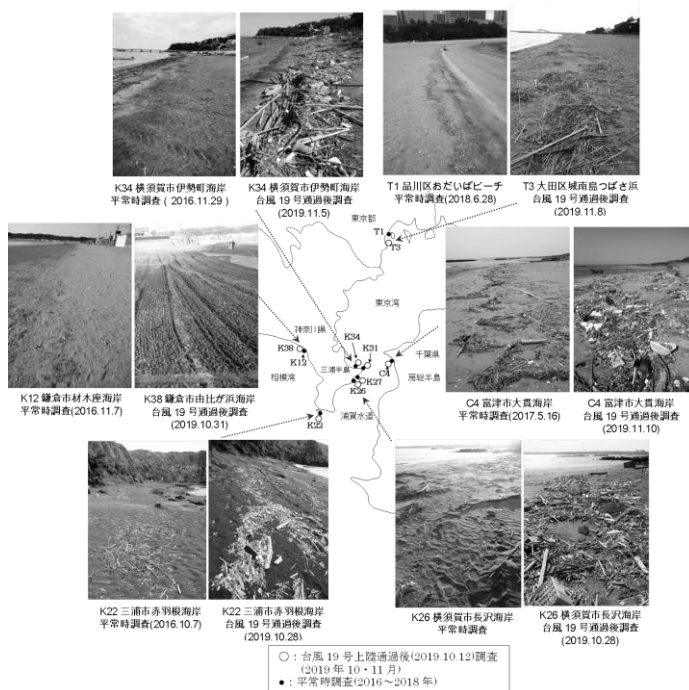


写真3 台風19号上陸通過後と平常時の調査時点での海岸状況

2016年10月～2018年6月に関東沿岸域の54か所の砂浜海岸で実施した今回と同じ海岸の調査データ³⁾を平常時のものとして比較検証している(表1参照)。なお神奈川県由比が浜海岸(K38)と東京都のつばさ浜(T3)については平常時に調査を行っていなかったため、それぞれ最も近接する材木座海岸(K12)とおだいばビーチ(T1)のデータを平常時のものとして適用している。

写真3には、台風通過後と平常時の調査時点での代表的な調査海岸での海洋ゴミの漂着状況を示している。今回の調査は台風通過後2週間ほど経過していたが、木くずや廃プラスチックなどが大量漂着したままの状態、台風による影響が残っている海岸も見られた。だが規模は様々であるが清掃活動の痕跡が窺われる海岸も多く、一部の海岸では早々に重機車両などを導入して打ち上が

った漂着ゴミの徹底的な撤去作業がなされていた(例えば、K38の鎌倉市由比が浜海岸など、写真3参照)。しかしそのような海岸においても、MPなどの微小プラスチックの回収除去には十分留意されていないようで、多くの海岸では漂着したMPを容易に観察できた(写真4)。



写真4 大型台風通過後、大量のMPの漂着を容易に観察

MP調査は既報した方法²⁾に基づいて、満潮線付近の主要な漂着帯で1m四方調査枠(面積1㎡)を設定し、枠内の深さ1~2cmの表層部を掻き集め(写真5)、5mmふるい通過物質に含まれているMPを抽出した(写真1参照)。抽出

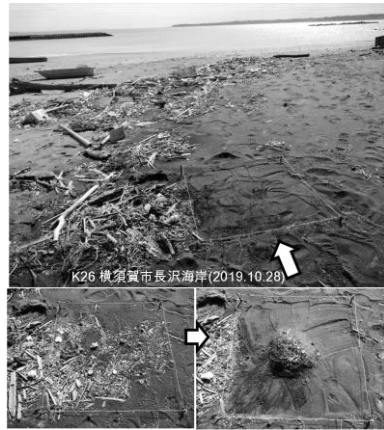


写真5 砂浜海岸でのMP調査の事例

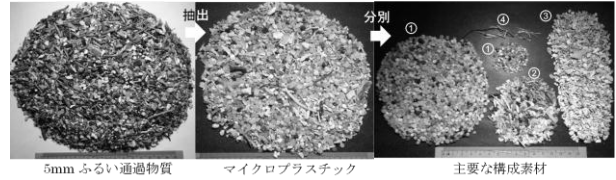
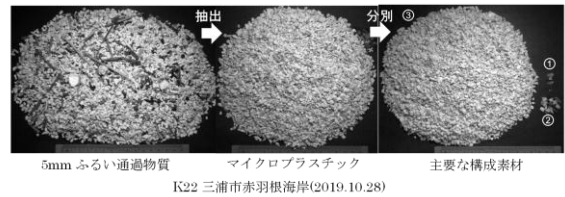
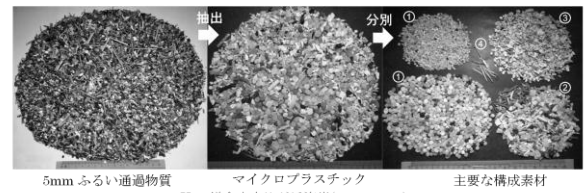
MPの素材や材質をはじめ数量や質量を計測し、検出MPの構成状況を定量的に評価した。

3. 大型台風によるマイクロプラスチックの変動性

マイクロプラスチック(MP)は大きさ5mm以下の微小プラスチックを総称したもので、元々サイズが5mmより小さなものは一次MP、劣化破碎して5mmより小さくなったものは二次MPと称することもある。

既報²⁾しているが、MPはプラスチック容器類などの中間材料として使用されるレジンペレット(一次MP)、漁業用ブイや漁箱等に用いられる発泡スチロール微細片(二次MP)、両者以外のプラスチック製品のプラスチック微細片(二次MP)の3素材が、主要な構成素材となっている。海岸によって各素材の数量的な構成比率は異なるが、大半の海岸ではこの3素材の累計比率は90%以上を占めている。他に釣り糸・漁網やロープ・布などの合成繊維の短片等が多少含まれている。

写真6には、大型台風19号通過後の砂浜海岸で行った調査での、5mmふるい通過物質から抽出したMPの状況と、それを主要な素材に分別した代表的な事例を示している。そこで、大型台風19号による上陸通過の影響を定量的に評価するために、各海岸での面積1㎡の調査枠内で検出したMPの現存数量に構成素材の数量を考



①レジンペレット(2タイプのサイズ)、②プラスチック微細片
③発泡スチロール微細片、④糸状合成繊維短片、⑤その他(省略)

写真6 大型台風通過後の抽出MPとその構成素材の事例

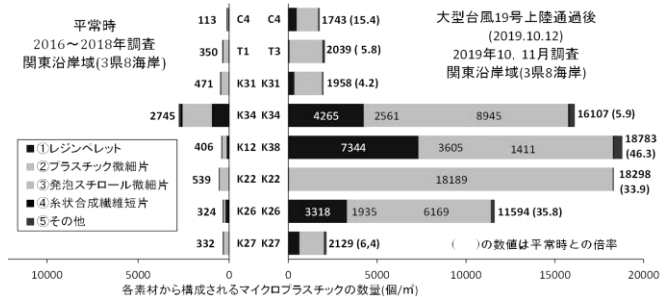


図2 大型台風通過後と平常時でのMPの検出数量の比較検証

慮し、平常時での結果と対比して示したのが図2である。平常時の調査では、MPの現存数量はK34(横須賀市伊勢町海岸)での2745個/㎡が最も多く、他の海岸ではいずれも100~500個/㎡範囲の数量であった。だがこれに対して、台風通過後の調査ではMPの検出数量は大幅に増加しており、殊にK34(横須賀市伊勢町海岸)では16107個/㎡(5.9倍)、K38(鎌倉市由比が浜海岸)では18783個/㎡(46.3倍)、K22(三浦市赤羽根海岸)では18298個/㎡(33.9倍)、K26(横須賀市長沢海岸)では11594個/㎡(35.8倍)と、MPの現存数量は1万個/㎡を遥かに超え、8海岸いずれにおいても4.2~46.3倍の高い検出数量となっている。

当然、MPを構成している各素材の検出数量にも一様に増加がみられる(図3)。平常時に比較し

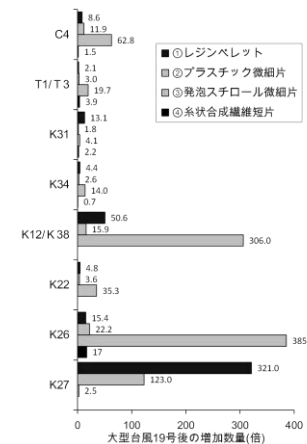


図3 大型台風通過後のMP素材の増加状況

て、特に、レジ
ンペレットでは
K27(横須賀市野比
海岸)で321.0倍、
K38(鎌倉市由比が
浜海岸)で50.6倍、
プラスチック微細
片ではK27(横須賀
市野比海岸)で

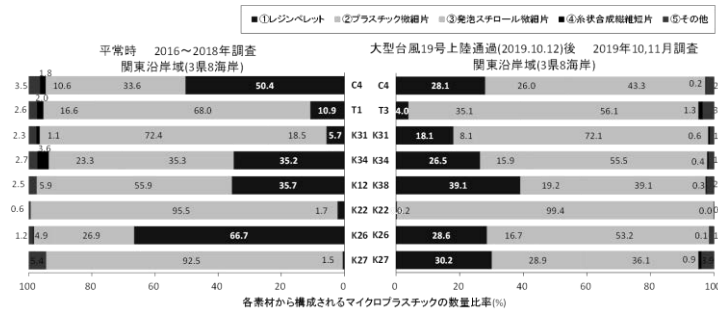


図4 大型台風通過後と平常時での主要素材の数量比率の推移

123.0倍、発泡スチ
ロール微細片ではK26(横須賀市長沢海岸)で385.6倍、
K38(鎌倉市由比が浜海岸)で306.0倍、C4(富津市大貫海
岸)で62.8倍と、いずれも50倍以上の非常に高い検出数
量となっている。平常時においても、通常、海岸の立地
(地形・位置・方向・河口等)、周辺沿岸施設(漁港・養
殖・港湾・レジャー等)、海岸清掃の頻度・規模・時期
等の複雑な要因によって、MPの漂着・混在状況(検出さ
れる数量や素材構成など)には影響がみられる。

だが、このように激増した漂着数量の大きな要因は、
大型台風による記録的な暴風や高波・高潮の発生で、沿
岸海域のみならず太平洋沖合の遠方海域(特に暴風圏内
の経路周辺海域)を漂流するMPをはじめ、海中遊泳・
海底沈積していたMPや沿岸・湾岸河口からの大量災害
ゴミに混じって河川流出したMPの打ち上がりによると
ころが、極めて大きいと推察される。まさに異常なまで
の大型台風効果によって、平常時には殆ど漂着するこ
とのない、海域に滞留・潜在していた膨大な量のMPが
炙り出され、一気に打ち上がった状況にあると言える。

MPを構成する各素材の数量比率をみると(図4)、海岸
ごとに異なり特徴的な傾向が窺われる。台風通過後の
調査では、概ねレジンペレットとプラスチック微細片
の占める構成比率が相対的に低下し、逆に発泡スチロ
ール微細片の比率が増加傾向にある海岸が多く見られ
る。発泡スチロールは容器類等の廃プラスチックに比
較して構造的に弱く、大型台風で発生する異常な風力・
波力の効果によって、その破片や小塊などはさらに容易
に破碎を繰り返してMP化し易いためと思われる。

なお、K22(三浦市赤羽根海岸)では99.4%を占め、MP
がほぼ発泡スチロール微細片で構成されている(写真6
中段参照)。この海岸は平常時でも95.5%を占めており、
両調査で数量的には大きく異なるが、当初より発泡スチ
ロール微細片の漂着が特異な海岸と言える。

また、K27(横須賀市野比海岸)では、これまでの海岸
とは異なる傾向が認められた。台風通過後は、いずれの
素材も数量はかなり増加しているが、平常時に比較して
発泡スチロール微細片の比率は92.5%から36.1%に大幅
に低下し、相対的にレジンペレットとプラスチック微細



写真7 K27野比海岸の状況

片はそれぞれ30.2%と28.9%
に増加した素材比率となっ
ている。この理由について明確には言及できないが、台
風通過後の調査時には木くずなどの漂着ゴミがかなり回
収撤去された痕跡が窺われたこと、また他の調査海岸に
比較して砂浜の奥行きが30mほどで狭く(写真7)、台風
時の強風・高波下、殊に軽量の発泡スチロール微細片は、
漂着後、飛散・拡散・再流出等の移動・変動による影響
が大きかったためと考えられる。

さらに、図5と図6には総計分析の結果をまとめてい

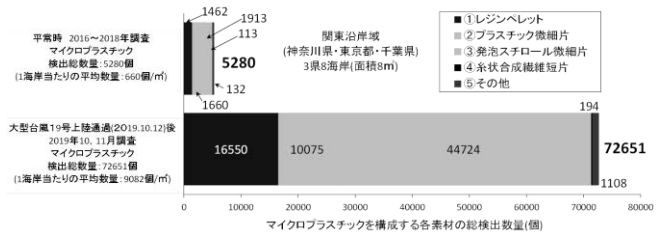


図5 大型台風通過後と平常時でのMPの総計分析(総数量)

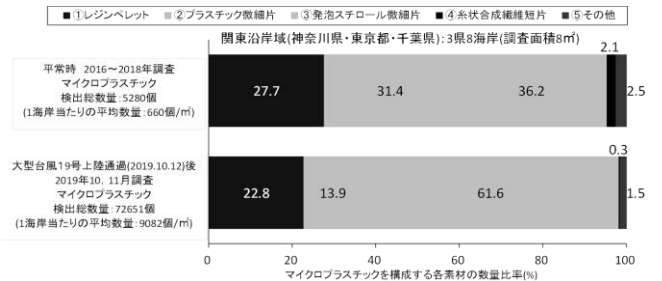


図6 大型台風通過後と平常時でのMPの総計分析(総数量比率)

る。台風通過後の対象8海岸でのMPの総数量は72651
個、1海岸当たりの平均数量は9082個/m²となり、平常
時のそれぞれ5280個と660個/m²に比較して、MPの平均
的な数量は13.8倍と大幅に増加している。素材ごとに
比較すると、発泡スチロール微細片が23.4倍と最も高
く、レジンペレットが11.3倍、プラスチック微細片が
6.1倍、糸状合成繊維短片が1.7倍となっている。主要な
3素材の構成比率をみると、台風効果によって、発泡ス
チロール微細片の構成比率が36.2%から61.6%と約1.7
倍に増大し、MPの総数量の半数以上を占めている。相
対的にレジンペレットは27.7%から22.8%、プラスチ
ック微細片は31.4%から13.9%に低下していることが分
かる。この結果は、各素材の漂着は数量的には大幅に増
加するが、台風のような暴風や高波が発生した場合には、関東

沿岸域の東京湾・相模湾に面する海岸域では、取り分けMP化した微細な発泡スチロールが膨大な量で漂着することを示唆している。

4. マイクロプラスチックの軽減・防止対策の強化

これまでも度々指摘してきたことだが、今回のマイクロプラスチック(MP)調査から得られた大型台風効果の知見は、用途先が殆ど限定的である発泡スチロールとレジンペレットの海域への流出・排出防止の強化に一刻も早く取り組むべきことの重要性について、再度、警告したものと言える。先の図6からも明らかなように、東京湾・相模湾沿岸の海岸域では、平常時でもMPに占める発泡スチロール微細片(36.2%)とレジンペレット(27.7%)の数量比率の和は63.9%と6割以上占めている。しかも大型台風上陸通過後は84.4%(前者が61.6%、後者が22.8%)と8割以上に増大し、両者の素材がMPの大半を構成している。

海域や沿岸域で検出されるMP化した微細な発泡スチロールの殆どは、漁業・水産活動で使用された発泡スチロールブイ・フロートや漁箱類が主要な供給源となっている。海域で直接、発泡スチロール製器具類を優先的に使用する漁業・水産業界では、剥き出し発泡スチロールの禁止を含め、用途の見直し・規制等に関する強化策への抜本的な検討が求められる。

また周知のように、レジンペレットの大半はプラスチック容器類の中間材料として使用されている。今のMPと同様に、ほぼ半世紀以前の1970年代当初より甚大な海洋汚染因子として世界的に警告が発せられ、漏出防止対策の強化が図られてきたはずである。だが未だに、海域への流出・排出による砂浜海岸への漂着が深刻化している実態が分かる。やはり製造・用途先であるプラスチック業界には、これまでの防止対策の徹底的な再点検に加え、流出・漏出管理体制の根本的な見直しが一層強く求められる。

5. 人工芝由来の緑色プラスチック微細片

マイクロプラスチック(MP)を構成する主要素材の一つであるプラスチック微細片(ポリスチレン(PS)以外のもの)は様々な色調・形状・サイズのものから構成されている。これらの微細片は、ポリエチレン(PE)とポリプロピレン(PP)の材質のものが主流となっている。ここで注目すべきことは、色調が緑色で、形状が主に長形(長さ概ね10mm以内、幅2mm程度)やその破碎したもので、いずれも同じ材質(PE)のプラスチック微細片で、かなり

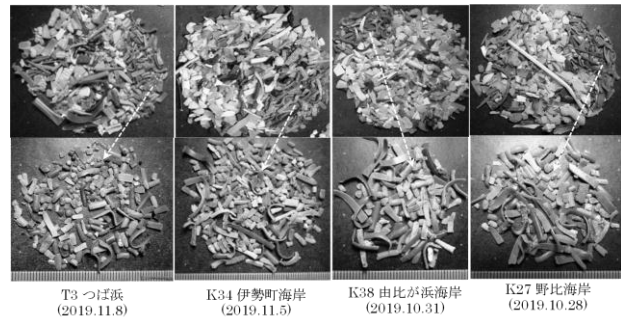
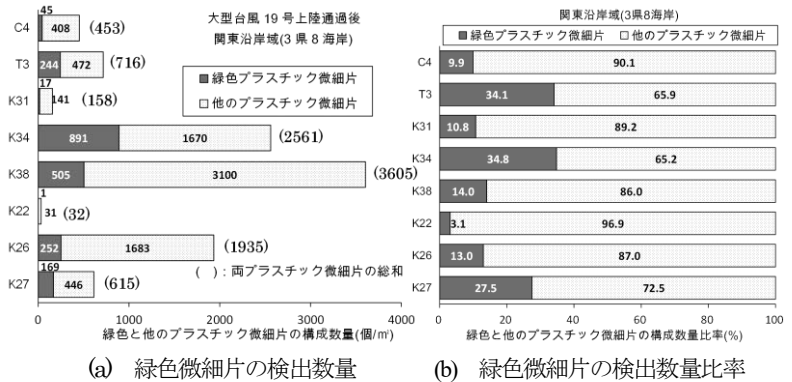


写真8 代表的な海岸での緑色プラ微細片(人工芝由来)



(a) 緑色微細片の検出数量 (b) 緑色微細片の検出数量比率

図7 各海岸での緑色プラスチック微細片(人工芝由来)の構成状況

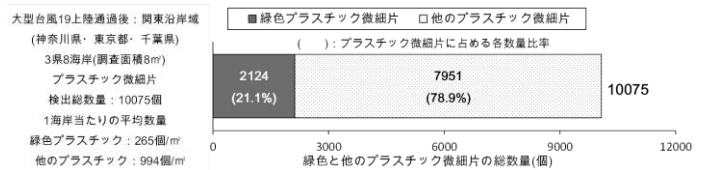


図8 対象8海岸での緑色微細片(人工芝由来)の総数量比率

の数量で検出される海岸が多いことである。今回の大型台風19号上陸通過後の素材分析サンプルの場合について、プラスチック微細片から抽出した緑色微細片の代表的な事例を提示している(写真8)。また図7(a)と図7(b)には調査対象とした東京湾・相模湾に面する8海岸での、緑色プラスチック微細片の数量的な構成状況について検討している。

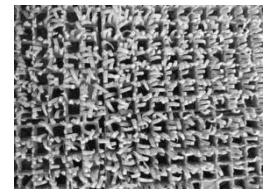


写真9 玄関マット用の人工芝例

緑色微細片の検出数量は海岸によってかなりばらつきは見られ、K34(横須賀市伊勢町海岸)では最大の891個/m²を確認している(図7(a)参照)。中でも東京湾に面するT3(大田区つばさ浜)、K34(横須賀市伊勢町海岸)、K27(横須賀市野比海岸)では、緑色微細片のプラスチック微細片に占める数量比率は、それぞれ34.1%、34.8%、27.5%と3割前後となっている(図7(b)参照)。調査した8海岸での総計分析では(図8)、検出されたプラスチック微細片の総数量(10075個)の21.1%(2124個)となっている。

この緑色のプラスチック微細片は、様々なタイプのもので製造・流通しており、人工芝が供給源となっている

(写真9). 人工芝は40年ほど前から普及し始め、競技施設などへの導入に加え、ゴルフ場の歩経路、学校のプールサイド、庭や玄関等のマットやシートなどにも多用されており、用途は広い。劣化してちぎれた人工芝の小片が降雨などにより側溝や下水等を通り、MP化して河川や海域に流出していることが示唆される。

既述したように、MPを構成する主要素材の中でも、レジンペレットと発泡スチロール微細片は、用途や供給源がかなり限定的である。これに対して、劣化破砕を繰り返したプラスチック微細片(二次MP)は素のプラスチック製品の用途や供給源を究明することが難しい。このプラスチック微細片の素材は、図6に示した東京湾・相模湾に面する沿岸域では、大型台風上陸通過後にはMP総数量の13.9%、平常時には31.4%をそれぞれ占めている。上述したように、その約2割の供給源は人工芝由来の素材で占められていることが分かる(図8参照)。一旦自然界に流出したMPの回収除去は絶望的な作業となることから、今回のような詳細な素材分析は、素となっているプラスチック製品の自然界への流出・排出防止を図るための強化策の検討に役立てられることが分かる。

6. 微小なレジンペレット

今回の大型台風通過後の8海岸でのレジンペレットの検出総数量は16550個で、MP総数量の22.8%を占めていた(図5、図6参照)。このレジンペレットには各海岸で微小な樹脂ペレットが検出されることで、3サイズのもの(レジンペレットn: サイズ約3~5mm, レジンペレットs: 約1.5~2.5mm, レジンペレットss: 約0.8~1.5mm)に大別し、数量的評価を試みている(写真10)。各海岸での検出数量は異なるが、8海岸での総計分析では(図9)、総数量(16550個)の68.5%(11334個)をレジンペレットn、28.7%(4755個)をレジンペレットs、2.8%(461個)をレジンペレットssが占めており、1海岸当たりの平均数量は、それぞれ1417個/m²、594個/m²、58個/m²となっていた。

レジンペレットはプラスチック製品の中間・成型材料として幅広く使用され、製品化されている。また充填材、研磨材、洗浄材などに需要され、様々なサイズや色調のものが多用されて

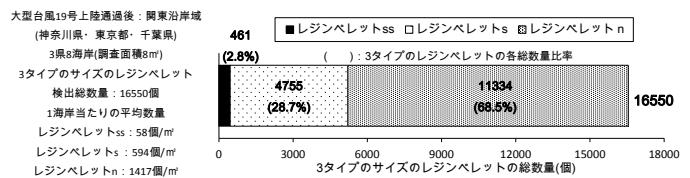


図9 3サイズの樹脂ペレットの構成状況(8海岸総計分析)

いる。海外からの輸入が大半を占めているが、近年、廃プラスチックのリサイクル品として加工したものも増えている。肉眼での判別が難しい微小な樹脂ペレットを回収することは極めて困難である。海や河川への流出・排出源対策の再点検と一層の対策強化の徹底が求められる。

7. まとめ

大型台風上陸通過という稀な気象条件下で発生する異常なまでの波浪・風力・降雨は、平常時には見られない、海・河川等の水域に滞留・潜在する膨大な量のマイクロプラスチック(MP)の存在を浮き彫りにしたとも言える。

大量の災害ゴミに混じって河川から海域に流出したMPを含め、平常時には殆ど漂着することのない遠方大海を拡散漂流していたものをはじめ、海中遊泳や海底沈積していたものなど、海域に滞留・潜在していた膨大な量のMPが、大型台風の特異な効果による海洋攪乱等で打ち上がり、その存在が炙り出されたものと推察される。

このような実態を鑑みると、一旦、海域に流出したMPの回収除去は殆ど不可能であることからすれば、逆に効率的な回収除去の水際対策としては、大量のMPが一気に打ち上がる台風通過後に加え、高波・強風の頻度の高い時季を重点的に選定し、殊にMPは木くず・くずゴミ・海藻類等の漂着帯に付着・混在していることから、廃プラスチックゴミの回収と同時に、これらの漂着物に特に注視して、徹底的に回収撤去する清掃活動を定期的に持続することが有効と言える。必要に応じて、適宜、浜奥側の漂着帯付近の表層部の土砂の入れ替えなどを行うことが効果的である。今後、このような機会を捉えさらに調査を重ね、MPの動態性に関する検証を深めたい。

参考文献

- 1) 東京新聞社(2016): イワシ8割から微細プラスチック おなかに東京湾のごみ, 東京新聞, 2016年4月9日発行。
- 2) 山口晴幸(2019・2020): 〈八重山美ら海の叫び〉海洋越境廃棄物の脅威〜忍び寄るマイクロプラスチック汚染〜, 月刊「やいま」, No.303~No.311, 南山舎出版。
- 3) 山口晴幸(2019): 大量マイクロプラスチックの主要な漂着・流出場所と化す砂浜海岸の実態評価〜関東沿岸域での調査を踏まえて〜, 土木学会, 第27回地球環境シンポジウム講演集。

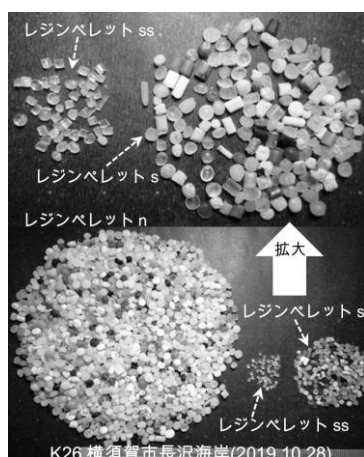


写真10 3サイズの異なる大きさの樹脂ペレット