

陸域におけるマイクロプラスチックの実態把握に向けた基礎検討

Understanding microplastics in terrestrial environment

庄司 貴*、飯野 翔太*、溝田 健一**

Takashi Shoji*, Shota Iino*, Kenichi Mizota**

【要約】陸域の土壌試料を対象としたマイクロプラスチック（MPs）の採取方法について、既往研究に基づき簡易な手法を作成し、実試料に適用した。MPsの採取事例は海水だけでなく河川水や底質での採取事例があったが、統一的な手法は定められていなかった。本報告ではふるい分けと飽和食塩水による比重分別を用いてMPs様試料を簡易に採取可能な手法を作成し、調査地域周辺の河川のごみや散乱ごみの分布状況に基づき選定した試料採取地点にて適用した。本法はMPs様試料の採取が可能であったが、次のような課題点も得られた。第一に、比重分別の際にピーカー内壁へのMPs様粒子の付着が認められたことから目視が困難な微小なMPs様試料の採取には向かないこと第二に、有機物の多い側溝汚泥のような試料では有機物の分解操作を加える必要があることが示唆された。

キーワード：マイクロプラスチック、土壌、散乱ごみ、河川ごみ

1. はじめに

海洋プラスチックごみの80%は陸域由来であるとの試算¹⁾がなされており、Jambeckら²⁾は日本からのプラスチックごみ流出量は年間2~6万トンになると推計している。海洋へ流出するプラスチックごみのうち、直径5 mm以下の微細なプラスチックはマイクロプラスチック（以下、MPsと略記）と呼ばれており、世界の海洋環境中に分布することが報告されている。MPsは日用品に含まれるスクラブ、レジンペレット、洗濯により剥離した合成繊維などの微細な形状のMPs（一次MPs、一次発生MPs）のほか、大きなプラスチックごみが紫外線等の外的要因により劣化し、徐々に小さな破片状になったMPs（二次MPs、二次発生MPs）に大別される³⁾。

MPsは海洋のみならず、河川水中や都市または山間部の大気環境でも検出されており、MPsやプラスチックに添加・吸着する化学物質による生物・生態系影響が懸念されている⁴⁾。MPsの回収は非常に困難なことから、プラスチックごみの発生抑制、特に陸域における発生抑制が重要である。一方で、河川や海洋へ流出するプラスチックごみの量を推計した事例^{2,5)}は限られており、推計値の幅も大きい。この原因として、環境中へ流出するごみの多くは散乱ごみとして管理されていない状態で残置されているため有効な統計データが欠如していることが考えられる。加えて、散乱ごみは風雨等の影響のほか、ポイ捨て等の不法行為、地域の清掃活動等により容易に移動・減少、あるいは増加することから、散乱ごみ量の評価指標として計測しやすく適切なパラメータが存在しない。ここでMPsに着目すると二次MPsのように環境中に散乱したプラスチックごみからのMPs発生が想定されることから、MPsの土壌や河川水等の環境媒体中濃度（個数濃度、重量濃度）は、その地域の管理されていないプラスチックごみの量を反映するパラメータとして活用できる可能性がある。既往研究では、河川水中のMPs濃度と水収支解析を組み合わせることで日本国内から海洋へ流出するプラスチックごみの総量を評価した事例⁶⁾が

* 一般財団法人日本環境衛生センター 東日本支局 環境事業本部 環境事業第二部
Environmental Sciences Dept., Environmental Business Group, East Branch Office, Japan Environment Sanitation Center (JESC)

** 一般財団法人日本環境衛生センター 総局 資源循環低炭素化部
Resource Recycling & Low-carbonization Dept., Head Office, JESC

報告されている。

本報告では、陸域におけるプラスチックごみの実態把握に結びつけるため、陸域土壌中のMPsの実態把握調査手法を検討することを目的に、既往研究の整理と簡易なMPsの採取方法を検討した。なお、FT-IR等によるMPs(あるいはプラスチック)の同定は行っていないため、本報告はMPsの採取・前処理までが検討範囲である。

2. 方法

2.1 MPsの採取方法に関する情報収集

海水及び河川水中のMPsの採取方法例や海岸等での採取事例を収集し、MPsの採取方法について整理した。

2.2 土壌試料中MPs等の採取方法に関する検討

既往研究に基づき土壌試料からMPsを含むプラスチック片(5 mm以上のものを含む)の採取方法を検討した。なお、ここで5 mm以上のものを対象に含めるのは、海洋や海岸に到達したプラスチックに比べて陸域ではプラスチックの劣化が進んでいない可能性を考慮したためである。また、調査地点の選定方法の考え方として、調査地域における河川ごみ及び散乱ごみの分布状況を検討した。

2.3 作成した土壌試料中MPsの採取方法

土壌試料は「25 cm×25 cm×深さ 1 cm」の区画から採取⁷⁾した。ただし、雨水排水溝のように25 cm×25 cmの区画を確保できない地点では合計で500 mL程度の試料を採取した。

採取した試料は実験室にてふるい分け(目合5 mm)し、粗大物を除いた。ふるいを通らなかった粗大物からは目視でプラスチック片を回収した(マクロプラスチックに相当)。ふるい分けした試料をガラスビーカー内で飽和食塩水と攪拌し、一晚静置後に上澄み中の浮遊物をネットにて採取した。採取した浮遊物を水洗し、MPs様試料(素材の同定をしていないため、本報告ではこの呼称を採用)を目視にて選別した。

3. 結果及び考察

3.1 MPsの採取方法に関する情報整理

3.1.1 海水及び河川水の既往研究

海域におけるMPsの採取方法は、一般に目合0.3 mmのプランクトンネットを用いて行われており⁸⁾、河川での調査も同様の手法で行われている⁹⁾。日本国内河川水の調査事例ではより小さいMPsを対象に目合0.1 mmのプランクトンネットを用いた研究も報告³⁾されている。「漂流マイクロプラスチックのモニタリング手法調和ガイドライン」⁹⁾では、グローバル比較の観点では0.3 mmのネットを使用することが望ましいと記載されている。

日本周辺海域はMPsのホットスポットとして知られており、日本周辺海域の平均MPs濃度は3.74個 m^{-3} と世界平均の27倍に相当すると報告されている⁸⁾。一方で、河川水中での平均MPs濃度は1.6 個 m^{-3} と海域に比べて低濃度であることが報告されている¹⁰⁾。したがって河川水中のMPs濃度は低く、検出には多量の水試料が必要である。小規模河川では水の流れに乏しく、また大型の船舶を用いた試料採取が困難であることから、MPs採取用の機器を開発し調査した事例も報告されている¹¹⁾。

プランクトンネットにて回収した試料は有機物の分解処理や比重分別等を行った上でMPsを分離する。分解処理には過酸化水素等による酸化分解¹²⁾のほか、アルカリ分解¹³⁾や酵素¹⁴⁾による分解事例が報告されている。

海洋で採取した試料について有機物分解の有無による違いが検討されている⁹⁾。試験所間比較では1 mm以上のMPs分析では有機物の分解処理の有無に系統的な差はみられなかったとする一方、1 mm未満のMPs分析では分解処理を行っていない試験所全てで粒子数や重量を過小評価する結果となったと報告している。

比重分別で用いる溶液は複数報告されている。代表的なプラスチックの比重は、約1付近に分布していることから、飽和食塩水(比重約1.2)や海水、飽和ヨウ化ナトリウム水溶液(比重1.8)、ポリタングステン酸ナトリウム(比重1.8程度になるよう水へ溶解して調整)など比重が1より大きい溶液を

用いて比重分別を行う方法が採用されている¹⁵⁾。飽和食塩水では比重の小さいポリスチレンやポリプロピレン等が分離できるが、比重のより大きいプラスチックを厳密には分離できないことに留意が必要である。

以上のように、海水や河川水中のMPsの採取方法は、ネットによる水試料からの分離、有機物の分解処理、比重分別が標準的な操作である一方、器具や試薬の選択等試験方法については一致がみられない状況にあったといえる。Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection (GESAMP)¹⁵⁾や日本⁹⁾で分析方法の標準化や調和化に向けた取組が行われている。

3.1.2 海岸砂・底質等の既往研究

砂浜を対象とした検討⁷⁾では、海岸の砂を25 cm×25 cm×深さ 1 cmにて採取し、粗大物をふるい分けした上で、比重分別を海水にて行うものであり、非常に簡易な手法で試料採取がなされている。湖沼底質を対象とした検討¹⁶⁾では熊本県内の江津湖にて底質を50 g採取し、MPsを回収したことを報告しており、回収されたMPsの一部は玩具由来である可能性を示している。路面塵埃を対象とした検討¹⁷⁾では掃除機によって路面の塵埃を回収後、過酸化水素水で有機物分解した後に比重分別を行う手法が報告されている。この研究ではMPs中に自動車タイヤ由来のものが検出されたと報告されている。下水汚泥を対象とした検討¹⁸⁾では、フェントン反応によって下水汚泥中の有機物を分解処理後、ヨウ化ナトリウム水溶液にて比重分別する前処理操作を行っている。

3.2 陸域土壌中MPs等の採取方法に関する検討

既往研究および散乱ごみの現地調査結果を参考に、陸域におけるMPs等の採取方法の検討を行った。

3.2.1 試料採取地点の選定

日本国内の河川水中のMPs濃度（平均1.6 個 m⁻³）¹⁰⁾から考えると陸域でのMPs濃度も小さいこと

が想定された。したがって、調査の試行に際しては可能な限りMPsが含まれる試料が採取できる地域・地点を選定する必要があると考えられた。

陸域でのMPsの発生量はMPsの生成元となるプラスチックごみの散乱状況を反映していると考えられることから、散乱ごみの発生量に依存すると考えられる。本報告では著者らが以前実施した、環境省請負業務「海洋ごみ削減のための複数自治体等連携による発生抑制対策等モデル事業等実施業務」（以下、モデル事業と略記）の散乱ごみ等の調査結果を踏まえて現地踏査を行い、調査地点を選定した。モデル事業でのごみ調査は愛知県新川流域、岐阜県荒田川流域、三重県天白川・鹿化川流域、岡山県宮川流域にて実施された。調査流域の河川の岸や河川敷に分布するごみ（以下、河川ごみという）の量は、流域内の散乱ごみの発生量を反映していると考えられることから、河川ごみの分布を比較することで、散乱ごみの発生量を間接的に評価することとした。2019年度夏季調査における愛知県・三重県・岐阜県の河川ごみ量の調査結果（抜粋）¹⁹⁾をTable 1に示す。なお、河川ごみ量の調査は河川ゴミ調査マニュアル²⁰⁾を参考に行った。

新川は河川10 mあたりのごみの分布量が他のモデル流域より多かった。新川流域は流域人口が他の地域より多いことやコンクリート護岸の高水敷は開放されていない区間が多く清掃活動もしにくいため、ごみが放置されやすいものと考えられた。河川ごみ調査の結果を踏まえ、新川流域を調査地域とし現地踏査を行った。

MPsは降水等によって容易に移動することが考えられ、陸域における水の流れ、すなわち集水域を把握し調査地点を検討するべきと考えられた。陸域での試料採取地点を検討するにあたり、集水域の情報を収集した。新川流域は複数の排水機場が整備されており、排水調整の対象となっている²¹⁾ことから新川下流域の排水区を一つの集水域とみなして現地踏査を行った。河川堤防下部の雨水排水溝 (Fig. 1, S1) では開渠となっている部分が認められ、その中にはポイ捨て、ないし周

圃から流入したと思われるプラスチック製品のごみ等の散乱・集積が認められた (Fig. 2, S1)。陸域でMPsが発生していると仮定するとこのような雨水排水溝にMPsが流入してくることが想定されたため、排水溝の堆積物を採取することとした。また、新川の高水敷 (Fig. 1, S2) にはペットボトル等プラスチック製品のごみが多量に堆積している区間がみられ (Fig. 2, S2)、MPsも同様に堆積している可能性があると考えられたことから、高水敷内の土壌を採取した。

Table 1 Volume of river litter (reproduced from reference 20)

River	Watershed population	Litter volume (L/10 m)
Shinkawa	870,000	28.7
Tenpaku	120,000	6.5
Arata	94,000	9.6

3.2.2 試料採取地点における散乱ごみ組成

試料採取を行った地点周辺に散乱するごみの組成調査を目視によるカウント法にて行った。International Coastal Cleanup (ICC) では評価の対象を2.5 cm以上のごみとしている²²⁾ことから、本調査もそれに準じた。2.5 cm以上のごみの組成をFig. 3及びFig. 4に示す。S1では雨水排水溝50 mの範囲を、S2では高水敷を河川に沿って10 mの範囲を調査範囲とした。いずれの調査地点もプラスチック製品に由来するごみが突出して多く、その内訳は日常生活で一般的に使用される製品由来と考えられるものが多数を占めた。S1周辺は食品の容器包装が多数散乱しており、路上駐車車両が多く認められたことから駐車中の車両からのポイ捨てが散乱ごみの発生要因の一つであると疑われた。新川高水敷で調査したS2周辺の区間は一般には開放されておらず、河川堤防によって周囲から見えにくい状況である。漂着物と思われるラベルの無いペットボトルが散乱していたほか、ポイ捨て等によるものと思われるごみが多数認められた。いずれの地点でも2.5 cm以上の大きさのプ

ラスチック片が散乱していたことから、河川や海洋へ流出する前の段階でもプラスチック製品が断片化・破片化していることが確認された。

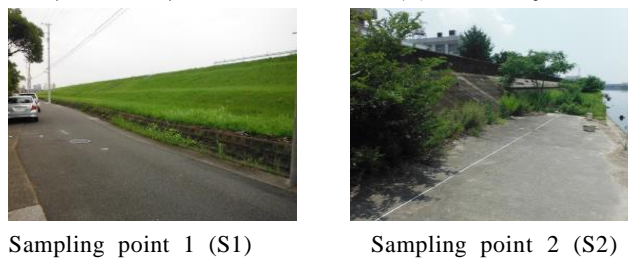


Fig. 1 Sampling points



Fig. 2 Example of littering garbage

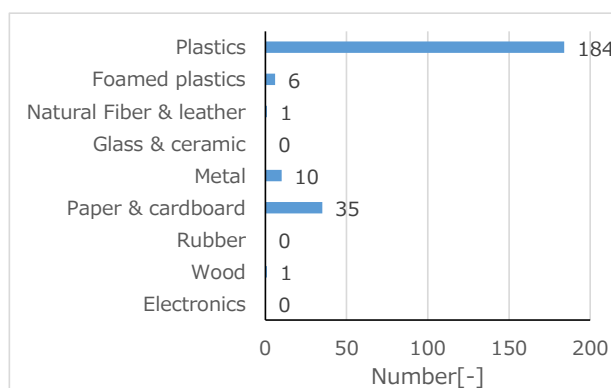


Fig. 3 Litter composition at S1

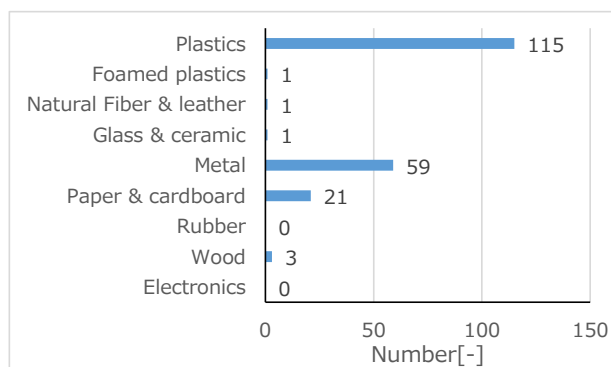


Fig. 4 Litter composition at S2

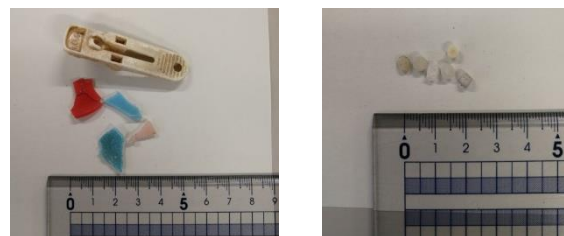
3.2.3 土壌中MPs採取方法の試行と課題

ペットボトル等プラスチック製品のごみが多量に堆積していた新川高水敷S2地点からマクロプラスチック (≥ 5 mm) やMPs様試料が採取された。S2地点で採取したマクロプラスチックとMPs様試料をFig. 5に示す。作成したMPs採取方法は比較的安価かつ簡便な方法でMPsが得られたが、一方で課題も多い結果となった。海岸砂のような砂質試料では飽和食塩水による攪拌・静置のみでMPs様試料をおおよそ選別可能であったが、雨水排水溝 (S1) から採取した汚泥のような土壌試料は比重分別で上澄みを分ける際に溶液が懸濁し、浮遊物のみを得るのが困難であった。土壌試料のように多量の有機物を含む試料については比重分別の前または上澄み液の採取後に有機物の分解処理が強く推奨されると考えられた。また、今回はガラスビーカー内で比重分別を行ったが、ガラスビーカー内壁に付着物が認められた。目視で確認できる範囲で付着物を回収することは可能であるが、目視で確認できない小さなMPsを対象とする場合には、MPsの回収率が低下する恐れがあると考えられた。既往研究では比重分別に活栓付き漏斗も使用されているが、懸濁物の詰まりや器具洗浄の手間といった欠点も指摘されており¹²⁾、有機物の多い試料には適さないものと考えられる。これらの欠点を解消するべく比重分別を行う器具の開発例も報告されている²³⁾。多数の試料を処理する場合には可能な範囲で専用器具の使用が推奨されると考えられた。

4. 結言

既往研究に基づき、土壌や雨水排水溝の汚泥を対象とした陸域でのMPsの簡易な試料採取方法を検討した。河川ごみや散乱ごみの調査結果に基づき、MPsの検出が期待される地点の抽出ができることが示唆された。本研究ではふるい分けと飽和食塩水による比重分別を採用した簡易な手法を提案し、MPs様試料を得ることが可能であった。採取したMPs様試料の同定にはFT-IR等の分析機器を用いる必要がある。本法は簡便である一方で、比重の大きなMPsの回収が困難であること目視が困

難な小さいMPsの回収には不適當である可能性がある。これらの課題については、前者はヨウ化ナトリウム等比重の大きい溶液にて比重分別を行う、後者は有機物分解操作を前処理工程に加えるといった改善の余地があると考えられた。



Macro plastics (≥ 5 mm) MP-like plastics

Fig. 5 Macro and MP-like plastics

5. 謝辞

本検討に際し現地調査にご協力いただいた関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

6. 参考文献

- 1) Eunomia (2016): *Plastics in the Marine Environment*. (<https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/plastics-in-the-marine-environment/> 2021年4月1日確認)
- 2) J. R. Jambeck, R. Geyer, C. Wilcox, T. R. Siegler, M. Perryman, A. Andrady, R. Narayan, K. L. Law (2015): Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*. 347:768–771.
- 3) 工藤功貴, 片岡智哉, 二瓶泰雄, 日向博文, 島崎穂波, 馬場大樹 (2017): 日本国内における河川水中のマイクロプラスチック汚染の実態とその調査手法の基礎的検討, *土木学会論文集b1 (水工学)*, 73, I_1225.
- 4) 環境省水・大気環境局水環境課海洋プラスチック汚染対策室 (2020): 海洋プラスチックごみに関する既往研究と今後の重点課題(生物・生態系影響と実態) http://www.env.go.jp/water/marine_litter/MarinePlasticLitter_Survey%20to%20understand%20the%20actual%20situation.pdf (2021年9月1日確認)
- 5) S. Borrelle, J. Ringma, K. Law, C. Monnahan, L. Lebreton, A. Mccivern, E. Murphy, J. Jambeck, G.

- Leonard, M. Hilleary, M. Eriksen, H. Possingham, H. D. Frond, L. Gerber, B. Polidoro, A. Tahir, M. Bernard, N. Mallos, M. Barnes, C. Rochman (2020): Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution, *Science*. 369.
- 6) Y. Nihei, T. Yoshida, T. Kataoka, R. Ogata (2020): High-resolution mapping of Japanese microplastic and macroplastic emissions from the land into the sea, *Water*. 12(4):951.
- 7) 平成28年度沖縄県海岸漂着物等地域対策推進事業報告書(2017)
(https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/seibi/ippan/marine_litter/h28_houkoku.html 2021年4月1日確認)
- 8) A. Isobe, K. Uchida, T. Tokai, S. Iwasaki (2015): East Asian seas: A hot spot of pelagic microplastics, *Marine Pollution Bulletin*. 101:618–623.
- 9) Y. Michida, S. Chavanich, S. Chiba, M. R. Cordova, A. Cozsar Cabanas, F. Glagani, P. Hagmann, H. Hinata, A. Isobe, P. Kershaw, N. Kozlovskii (2019): Guidelines for harmonizing ocean surface microplastic monitoring methods, *Ministry of the Environment Japan*. 71.
- 10) T. Kataoka, Y. Nihei, K. Kudou, H. Hinata (2019): Assessment of the sources and inflow processes of microplastics in the river environments of Japan, *Environmental Pollution*. 244:958–965.
- 11) A. Abeynayaka, F. Kojima, Y. Miwa, N. Ito, Y. Nihei, Y. Fukunaga, Y. Yashima, N. Itsubo (2020): Rapid sampling of suspended and floating microplastics in challenging riverine and coastal water environments in Japan, *Water*. 12:1903.
- 12) J. Masura, J. Baker, G. Foster, C. Arthur (2015): Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments, *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48*.
- 13) A. Dehaut, A. L. Cassone, L. Frère, L. Hermabessiere, C. Himber, E. Rinnert, G. Rivière, C. Lambert, P. Soudant, A. Huvet, G. Duflos, I. Paul-Pont (2016): Microplastics in seafood: Benchmark protocol for their extraction and characterization, *Environmental Pollution*. 215:223–233.
- 14) S. M. Mintenig, I. Int-Veen, M. G. J. Löder, S. Primpke, G. Gerdtts (2017): Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging, *Water Research*. 108:365–372.
- 15) P. J. Kershaw, A. Turra, F. Galgani (2019): Guidelines on the monitoring and assessment of plastic litter and microplastics in the ocean, (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/IAEA/UN/UNEP/UNDP/ISA Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection). *Rep. Stud. GESAMP* 99:130.
- 16) 恵良ら (2018): 第27回環境化学討論会 1B-05(PA-29)
- 17) 雪岡ら (2018): 第27回環境化学討論会 1B-04(PA-28)
- 18) 杉浦ら (2018): 第27回環境化学討論会 P-126
- 19) 一般財団法人日本環境衛生センター(2020): 環境省請負業務 平成31年度海洋ごみ削減のための複数自治体等連携による発生抑制対策等モデル事業等実施業務報告書, 38-63.
- 20) 国土交通省水管理・国土保全局河川環境課 (2012) : 河川ゴミ調査マニュアル
- 21) 新川流域排水調整
(<https://www.pref.aichi.jp/soshiki/owari-kensetsu/0000008893.html> 2021年4月1日確認)
- 22) 一般社団法人JEAN (2015): ごみ調査・データカード International Coastal Cleanup (ICC) Data Card
(<http://www.jean.jp/activity/participation/pdf/2015IC Cdatacard.pdf>, 2021年4月1日確認)
- 23) R. Nakajima, M. Tsuchiya, D. J. Lindsay, T. Kitahashi, K. Fujikura, T. Fukushima (2019): A new small device made of glass for separating

microplastics from marine and freshwater sediments,
PeerJ. 7:e7915.

Summary

This study develops a simple method for collecting microplastics (MPs) from ground soil samples based on previous studies, and it is applied to actual samples. MPs have been collected from seawater, river water, and sediment. The method in this study collects MP-like samples using sieving and specific gravity sorting with saturated saline solution. We applied this method to the sample collection sites that were selected based on the distribution of trash and scattered litter in the rivers around the study area. Although the method could collect MP-like samples, the following problems were found. First, MP-like particles were observed to adhere to the inner wall of the beaker during the specific gravity separation, suggesting that this method is not suitable for collecting small MP-like samples that are difficult to see. Second, it is necessary to decompose the organic matter for samples with a high content of organic matter, such as a ditch sediment.